

Aus dem Institut für Landeskultur
der Justus Liebig-Universität zu Gießen
Direktor: Professor Dr. rer. nat. H. Weber

MÖGLICHKEITEN DER UNTERBODENMELIORATION
DURCH TIEFLOCKERN, DARGESTELLT AN UNTER-
SUCHUNGEN AUF DREI STANDORTEN

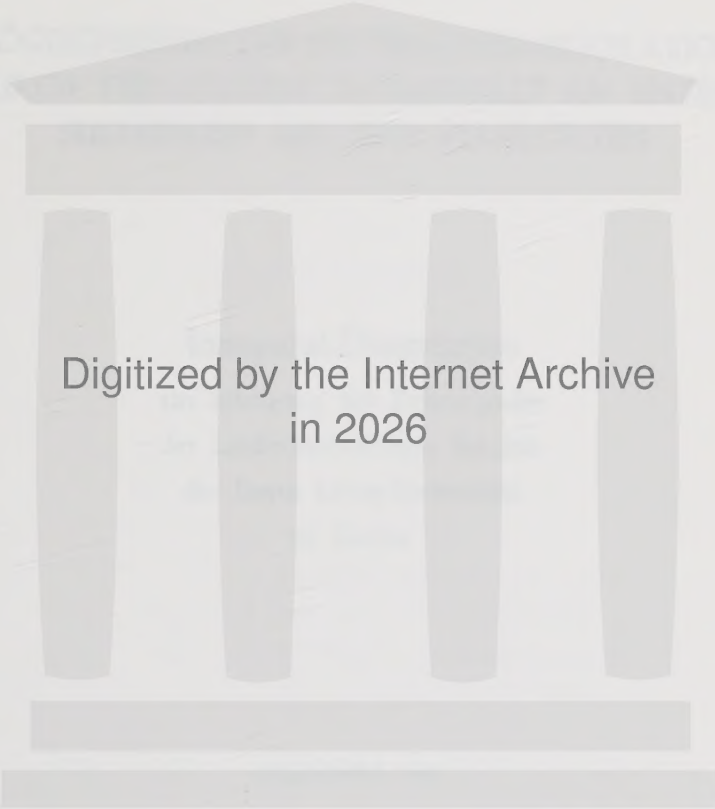
Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität
zu Gießen

eingereicht von

Zargham Samadani
aus Hamadan/Iran

Gießen 1970



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut für Landeskultur
der Justus Liebig-Universität zu Gießen
Direktor: Professor Dr. rer. nat. H. Weber

MÖGLICHKEITEN DER UNTERBODENMELIORATION
DURCH TIEFLOCKERN, DARGESTELLT AN UNTER-
SUCHUNGEN AUF DREI STANDORTEN

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität
zu Gießen

eingereicht von

Zargham Samadani

aus Hamadan/Iran

Gießen 1970



Dekan: Prof. Dr. F. Großmann

1. Berichterstatter: Prof. Dr. H. Weber
2. Berichterstatter: Prof. Dr. L. Jung

Tag der mündlichen Prüfung: 26. Februar 1970

Gewidmet meiner Frau

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	5
2. Überblick über die Entwicklung von Verfahren zur Beseitigung von Bodenverdichtungen	8
2.1 Untergrundlockerung in verschiedenen Tiefen . .	8
2.2 Von der Untergrundlockerung zur Unterboden- melioration	10
2.3 Entwicklung der Lockerungstechnik für die Unterbodenmelioration	17
3. Untersuchungen auf drei Standorten	22
3.1 Beschreibung der Standorte	22
3.11 Eschweiler-Dürwiß	23
3.12 Steinfurt.	26
3.13 Grieth-Griethausen	30
3.2 Untersuchungsmethodik	35
3.3 Untersuchungsergebnisse	39
3.31 Eschweiler-Dürwiß	39
3.32 Steinfurt	67
3.33 Grieth-Griethausen	81
4. Diskussion der Untersuchungsergebnisse	93
5. Zusammenfassung	102
6. Tabellen-Anhang	104
7. Literaturverzeichnis	132

1. Einleitung

Der Boden ist die Existenzgrundlage für die pflanzlichen Organismen und damit auch Voraussetzung für das menschliche Leben. Eine genaue Definition des Begriffs Boden ist nicht einfach, da er je nach der Betrachtung des Forschers ein vielfältiges Gesicht zeigt. Eine kurze und recht klare Formulierung fand der Schweizer Bodenkundler PALLMANN: "Der Boden ist das klimabedingte petro- und biogene Umwandlungsprodukt der äußersten festen Erdkruste" (Zit. 31).

Da der Boden den Pflanzenstandort darstellt, ist der Mensch bestrebt, mit einem geringen Arbeitsaufwand einen möglichst hohen Ertrag an Nahrungsmitteln zu erhalten. Er muß daher dem Boden, seiner Bearbeitung, Fruchtbarkeit und Erhaltung besondere Aufmerksamkeit widmen. Um ihn in seinem Sinne beeinflussen zu können, muß er die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Boden, Witterung, Bodenbearbeitung und Pflanzen zu erfassen suchen. Es muß untersucht werden, welche Eigenschaften der Boden besitzt, und vor allem, welche Struktur günstig ist und wie sie mit den vorhandenen technischen Hilfsmitteln auf günstigste Weise beeinflusst werden kann.

Besonders nachteilig wirken sich dichte Böden und Schichten aus, da sie schlecht wasserdurchlässig, schwer zu bearbeiten sind und das Pflanzenwachstum behindern. Diese Böden zeichnen sich durch Stau-nässe aus, trocknen im Frühjahr spät ab und erlauben erst eine spätere Bearbeitung als Flächen mit guter Wasserführung. Diese stau-nassen, "gleyartigen" Böden sind kenntlich an der Eisenschüssigkeit, an gebleichten Flecken und an kleinen Konkretionen, die aus Eisen und Mangan bestehen. Böden mit guter Wasserführung dagegen besitzen eine gleichmäßige gelbe bis braune Färbung auch im Untergrund.

Physikalisch zeigt sich die Verdichtung in einem geringen Porenvolumen und geringer Wasser- und Luftdurchlässigkeit. In tonigen bis lehmigen Böden ohne Gleybildung liegt das Porenvolumen zwischen

40 - 45 %, bei Vergleyung kann es auf 25 - 30 % absinken. Die Abwärtsbewegung des Sickerwassers wird durch schwerdurchlässige Schichten, Verdichtungen gehemmt. Hierdurch sammelt sich über den stauenden Schichten Wasser an, das je nach der Tiefenlage der stauenden Sohle und der Dauer einer Wasserfüllung aller Poren als Grundwasser oder als Stauwasser bezeichnet wird. Der Staunässegrad eines Pseudogleys ist vorwiegend abhängig von der Durchlässigkeit der Staunässesohle, ihrer Tiefe unter der Bodenoberfläche und dem Sickerwasseranfall.

Im engen Zusammenhang mit dem Bodenwasser steht die Bodenluft. Bei steigendem Bodenwassergehalt sinkt der Luftgehalt und umgekehrt. Dementsprechend ist der Lufthaushalt in staunassen, verdichteten Böden schlechter als in nicht verdichteten. Der Luftgehalt des Bodens wiederum beeinflusst die Tätigkeit der Mikroorganismen.

Durch die Anreicherung reduzierter Verbindungen sinkt das Redoxpotential des Bodens, so daß Fe-Verbindungen reduziert werden und blaugrüne Farbtöne auftreten.

Zahlreiche Verdichtungen sind durch stark differenzierte Ablagerungen entstanden, so z.B. die des mittleren Keupers mit einer Mächtigkeit von 100 bis 200 m, die zu Pelosolen führten. Dieser Verdichtung sehr ähnlich in ihrer Entstehung und Genetik sind zahlreiche weitere geologische Formationen wie Lettenkeuper, Lehrbergton, Feuerletten, Ornamenton, Opalinuston, oberer Buntsandstein, Liaston, Blasensandstein und Muschelkalk. Auch die Pseudogleye aus Löß sind durch Ablagerungen entstanden. Verdichtungen können aber auch im Laufe der Bodenalterung durch Entkalkung und Verwitterung entstanden sein. Das Sickerwasser wirkt entbasend und ausbleichend, so daß Schutzkolloid- und Säurewirkungen auftreten. Aluminium, Eisen, Humus und Ton in Solform geraten in Bewegung und bilden im Unterboden Verdichtungshorizonte (27, 98).

Für die Verdichtung des Bodens durch den Menschen kommen vor allem falsche Bearbeitungsmaßnahmen in Betracht. Infolge Einschlämmung von Feinboden auf die Bearbeitungsgrenze oder infolge Verschmierens des Bodens durch Schare und Schlupf der Räder entstehen sog. Pflugsohlen. Diese nahmen vor allem in den letzten Jahrzehnten mit der steigenden Mechanisierung in Form immer leistungsfähigerer schwererer Schlepper zu. Daher ist die Bezeichnung "Schleppersohle" von CZERATZKI oft zutreffender als Pflugsohle. Diese Schleppersohle tritt auf fast allen Böden, auch auf den tonigen, bindigen, trotz deren Schrumpfung immer stärker auf. Sie fehlt fast nur noch auf steinigten Böden (17).

Alle diese Verdichtungen wirken sich sowohl nachteilig auf die Bearbeitung durch den Menschen wie auch auf das gesamte Pflanzenwachstum aus. Infolge mangelnder Wasserversickerung in niederschlagsreichen Zeiten weicht der Boden so stark auf, daß er kaum mit Bearbeitungsgeräten befahren werden kann. In Trockenzeiten ist der Zugkraftbedarf sehr hoch und die Wirkung der Geräte relativ gering. Die Pflanze wird im verdichteten Boden in ihrer Entwicklung durch den extremen Wechsel zwischen Nässe und Trockenheit gehemmt. Während der Trockenzeit ist keine Wasserreserve vorhanden, so daß die Pflanzenernährung ins Stocken gerät. Außerdem ist im verdichteten Boden eine geringere Mikrobenzahl vorhanden, und damit ist auch die mikrobiologische Aktivität herabgesetzt, so daß nur ein geringer Stoffumsatz den höheren Pflanzen zugute kommt.

2. Überblick über die Entwicklung von Verfahren zur Beseitigung von Bodenverdichtungen

2.1 Untergrundlockerung in verschiedenen Tiefen

Um Verdichtungen zu beseitigen und den Wasser- und Lufthaushalt des Bodens zu regulieren, wurden verschiedene Verfahren entwickelt wie Dränung, Tiefpflügen, Tieflockern usw.

In der Entwicklung bis in die 50er Jahre unseres Jahrhunderts kann man 2 Abschnitte unterscheiden. Der erste reicht von den Anfängen bis etwa 1920, und der zweite umfaßt die Zeit bis zum zweiten Weltkrieg.

Der älteste Bericht über Untergrundlockerung stammt vom älteren Plinius, der von 23 bis 79 lebte. Er schreibt in seiner Naturgeschichte, daß die Bevölkerung in und um Köln, die Ubier, den Boden vor dem Einsäen bis zu 90 cm Tiefe pflügten und ihn mit Mergel düngten, obwohl das Land ohnehin äußerst fruchtbar sei (Zit. 73).

1670 erschien durch WORLIDGE der erste Bericht über die Lockerung eines Bodens in England mit dem Minierpflug "The Miner". Durch die Lockerung sollte die Wirkung der Dränung erhöht werden und gleichzeitig der für die Pflanzen nutzbare Bodenraum ohne die oft nachteilige tiefe Wendung vergrößert werden. Die Dränung des Bodens hatte in England sehr früh begonnen, versagte aber in undurchlässigen Böden.

Anfang des 19. Jahrhunderts arbeiteten englische, französische und amerikanische Lockerungspflüge (65). 1848 wurde im landwirtschaftlichen Zentralblatt schon über den Einsatz von Untergrundpflügen in Bayern berichtet (87). Verschiedene bayerische Pflugwerkstätten hatten 1853 in ihren Preislisten schon Untergrundpflüge aufgenommen (104). Die Lockerung wurde außer mit Minierpflügen und Tiefpflügen

auch noch von Hand durchgeführt, indem der Boden in der Furche mit der englischen Grabgabel, mit Hacke und Spaten aufgelockert wurde.

Vor allem in Notzeiten erinnerte man sich des Verfahrens der Tieflockerung. War der Dünger knapp, so war man bestrebt, mit Hilfe einer tiefen Bearbeitung Schichten des Untergrundes aufzuschließen, um dadurch den Ertrag zu erhöhen.

Um etwa 1920 begann der zweite Lockerungsabschnitt mit der Ausbreitung der Zweischichtenpflüge durch GÖRBING, SEKARA und v. NITZSCH. Theoretisch läßt sich die Zweischichtenarbeit von reiner Tieflockerung leicht trennen. Aber viele Zweischichtenpflüge wenden und lockern in manchen Betrieben 50 cm und tiefer.

Pflüge von EBERHARDT, KLAUSING u. a., später von SCHWARTZ, lockerten mit ausgespartem Streichblech, Grubberzinke am Körper, Winkelschar und besonders mit Wühlschar, das die stärkste Auflockerung bringt.

Das Interesse an der Untergrundlockerung wurde verstärkt, als aus bodenbiologischen Erkenntnissen die Forderung erhoben wurde, die Pflugarbeit nur auf die vom Bakterienleben erfüllten Bodenschichten zu beschränken. Diese sich hieraus ergebende flachere Bodenwendung sollte durch eine entsprechend tiefere Untergrundlockerung ergänzt werden. Daraus ergab sich die Forderung "flach wenden, tief lockern". Bis zum heutigen Tag hat sich diese Forderung mit Abwandlungen gehalten und wurde als Alternative zur üblichen Untergrundlockerung mit normaltiefer Wendung aufgestellt. Um beide Verfahren zu vergleichen, sind z. T. recht umfangreiche Untersuchungen durchgeführt worden, die jedoch im Bodenzustand keine Vorteile zugunsten der Kombination "flache Wendung, tiefe Lockerung" gebracht haben. Im Gegenteil, es ergab sich, daß mit den vorhandenen technischen Mitteln mit dieser Kombination sogar ein schlechterer mechanischer

Lockerungserfolg erzielt werden konnte als umgekehrt, da die erfaßte Untergrundschar meist zu dick war und nicht so gut vom Untergrundschar aufgebrochen und gekrümelt werden kann (17, 49).

2.2 Von der Untergrundlockerung zur Unterbodenmelioration

Nach dem 2. Weltkrieg setzte eine intensive Bearbeitung des Tiefenmeliorationsproblems ein. In dieser Zeit hat man die Unterbodenbearbeitung mit 10 - 15 cm tiefer vorgenommen, als die normale Pflugtiefe.

OPITZ, TAMM u.a. führten auf dem Dahlemer Boden Tiefkulturversuche durch, um die Versauerung des Bodens, die durch Flachkultur hervorgerufen wurde, aufzuhalten. Sie fanden heraus, daß Tiefkultur mit dem wendenden Pflug zur Erhöhung des Kalkgehaltes in der Krume und zur Erhaltung einer den Kulturpflanzen zusagenden Bodenreaktion für die Dauer von 40 Jahren führte. Bei dem Boden handelte es sich um einen lehmigen Sandboden mit höherem Kalkgehalt in den unteren Schichten (77, 78, 129).

H. RID hat dieselben Versuche mit dem Zweischichtenpflug durchgeführt. Auf Braunerden und verwandten Bodentypen hatte der Einsatz des Zweischichtenpfluges nur geringe Erfolge zu verzeichnen. Die Lockerungserfolge mehrten sich auf pseudovergleyten Braunerden, also Böden, die bereits etwas Staunässe und ungünstigere physikalische Eigenschaften aufweisen.

Bodenphysikalische Messungen brachten wertvolle Aufschlüsse. Nach Regenfällen konnte festgestellt werden, daß in den untergrundgelockerten Parzellen das Wasser schneller nach der Tiefe versickerte, als in den nichtgelockerten. Da das Wasser in den gelockerten Parzellen schneller nach der Tiefe abgeführt wurde, ist hier auch ein höherer Luftgehalt zu finden.

H. RID sagt: "daß das Wühlschar des Zweischichtenpfluges, wenn es 10 cm tief in den Unterboden eingreift, 1000 cm³ Raum für die Aufnahme überschüssigen Wassers gewinnt, das sich ohne die tiefe Lockerung sonst an der Pfluggrenze ansammelt und stauende Nässe auslöst."

Mit chemischen Untersuchungen wurde eine Wanderung von Nährstoffen und Humus in die gelockerten Schichten nachgewiesen. Untergrundlockerung verbessert die Nährstoffaufnahme der Pflanzen, sie beseitigt die auf pseudovergleyten Böden bestehende Düngerinaktivität (87, 89, 90, 93).

W. CZERATZKI stellte bei seinen Untersuchungen (in 40 cm Tiefe) über die Tieflockerung fest, daß sich die Güte einer Untergrundlockerung auf zahlreiche Bodeneigenschaften auswirkt, auf das Porenvolumen des Bodens, auf den mechanischen Widerstand u.a. Die Verbesserungen des physikalischen Bodenzustandes führen jedoch nicht immer zu einer Steigerung des Pflanzenertrages. Versuche der jüngsten Zeit ergaben, daß nicht alle Früchte auf eine Untergrundlockerung gleich ansprechen, sondern daß hier pflanzentypische Reaktionen zu unterscheiden sind.

Besonders häufig brachte die Lockerung zu Winterraps, Roggen und Hafer Erfolge. Die Erfolge waren beim Winterweizen nicht so häufig. Hier zeigten sich die besten Wirkungen immer erst in zweiter Tracht, wenn also die Lockerung zur Vorfrucht Rüben durchgeführt wurde. Dagegen schnitten Gerste, Kartoffeln und Zuckerrüben nicht besonders günstig ab. Der Rotklee lag am Ende dieser Rangordnung für Lockerungsbedürftigkeit, denn er brachte nach Untergrundlockerung fast immer Mindererträge. Demnach gehört Rotklee zu den Pflanzen, die eine dichte Struktur im Wurzelbett verlangen.

Aus den Versuchen ergab sich weiterhin, daß ein Zusammenhang zwischen der Jahreswitterung und der Häufigkeit von Untergrund-

lockerungserfolgen besteht. Lockerungserfolge traten in Trockenjahren durchschnittlich häufiger auf, als in feuchten Jahren. Demnach trägt die Untergrundlockerung zu einer besseren Aufschließung und Ausnutzung der Bodenfeuchte im Untergrund bei.

Diese Feststellung trifft für Raps, Getreide und Zuckerrüben zu, nicht aber für die flacher wurzelnden Kartoffeln. Es liegen jedoch auch gegenteilige Beobachtungen vor, die die ganze Problematik der Untergrundlockerung beleuchten. Im extremen Trockenjahre 1959 konnte an einigen Versuchen zuerst ein besseres Wachstum auf den gelockerten Parzellen beobachtet werden. Die Verhältnisse kehrten sich dann im Laufe der Dürre um, weil der Wassermangel die üppiger entwickelten Pflanzen stärker geschädigt hatte (17).

Die Ackerbauabteilung der Landwirtschaftskammer Rheinland setzte mit Unterstützung des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, die Tieflockerer "Multum" und "Talisman" ein. Diese Geräte, die in verschiedenen Betrieben arbeiteten, überzeugten die Gegner der Lockerung durch ihre Erfolge. Die Lockerung breitete sich danach stark aus. Durch diese neuen Geräte brach auch eine neue Phase der Tiefenmelioration über 60 cm Tiefe an.

SCHULTE-KARRING begann 1955 in der Voreifel als erster mit systematischen Untersuchungen über die Tieflockerung und Tiefdüngung. Er führte die Mehrzahl der Versuche auf gut mit Basen versorgten, mäßig ausgeprägten Pseudogleyen aus Löß mit Graulehm durch und entwickelte die Untergrundlockerung zur Unterbodenmelioration. Bei seinen physikalischen Messungen und Beobachtungen im gelockerten und ungelockerten Boden stellte er fest, daß die Auflockerung bei den Graulehm- und Lößpseudogleyen auch dort erhalten bleibt, wo die Speicherkapazität in den Lockerungsfurchen längere Zeit hindurch überschritten wird.

Die verdichteten Böden besitzen eine Eigenschaft, mit der sie sich

vor dem "Durchwurzeltwerden schützen". Nimmt die Härte beispielsweise durch einen höheren Feuchtigkeitsgehalt ab, dann nimmt die Dichte zu und umgekehrt. Ein starker Regen, der sich schnell in alle Hohlräume des offenen Bodens ergießt, genügt bereits, um die ursprüngliche Dichte wiederherzustellen und die Wurzeln zum Absterben zu bringen. Eine Schockwirkung ist nicht selten die Folge einer derartigen Wurzelkoupierung, die im Laufe der Vegetationsperiode mehrmals erfolgen kann. Anders in den gelockerten Böden. Hier ist dem Boden mit der Sekundärauflockerung die Möglichkeit der Wurzeldezimierung verlorengegangen. Er besitzt zwar die Eigenschaft der Schrumpfung und Quellung nach wie vor, doch das Quellen wird nicht mehr durch die Verdichtung begrenzt, sondern geschieht in einem sehr viel größeren Bereich.

SCHULTE-KARRING hat einige Diagramme über die in den Jahren 1966 und 1967 vorgenommenen Porenvolumenmessungen aufgeführt. Die Messungen zeigen nach 4 Jahren Melioration in den gelockerten Parzellen eine bessere Porenraumverteilung. Im Jahre 1965 stellte SCHULTE-KARRING fest, daß ein 17 %iger Mehrertrag bei Zuckerrüben in meliorierten und tiefgedüngten Parzellen festzustellen war. Bei gelockerten Parzellen war kein Mehrertrag zu verzeichnen. 1967 konnte dagegen kein besserer Ertrag bei Roggen zwischen meliorierten und unmeliorierten Parzellen nachgewiesen werden (115, 116, 117).

GLIEMEROTH führte ähnliche Tieflockerungsversuche in Verbindung mit Tiefdüngung durch und erzielte gute Ergebnisse. So erhöhte sich durch tiefes Einbringen der Volldüngung Wurzelmasse, Wurzelverzweigung und Wurzelhaar-Besatz. Bei dem Zuckerrüben-ertrag konnte ein positiver Einfluß der Tiefdüngung bei Auftreten von Trockenperioden beobachtet werden. Der Erfolg dürfte nicht nur an der besseren Wasserversorgung liegen, sondern vor allem scheint er dadurch bedingt zu sein, daß bei der Austrocknung der Ackerkrume keine Unterbrechung der Nährstoffaufnahme in dem Umfang

eintrat, wie bei Flachdüngung (32,33).

SCHWARZ und GORA führten Versuche mit einem von ihnen entwickelten kombinierten Tieflockerungs- und -kalkungsgerät in Thüringen auf Pseudogley durch. Ihre Versuche zeigten keine Anzeichen einer schnelleren Wiederverdichtung, aber eine intensive Durchwurzelung des vorher nur sehr unzureichend erschlossenen Unterbodenraumes. Die oberirdischen Wuchsverbesserungen waren besonders deutlich auf den tiefgelockerten und tiefgekalkten Parzellen und darüber hinaus auf denen, die mit zusätzlicher Phosphorsäure- und Stickstoffdüngung versehen worden waren. Dagegen fielen die nur tiefgelockerten, die tiefgelockerten und oberflächengekalkten Parzellen, sowie die maulwurfgedrängten merklich ab. Auch in bodenchemischer und -physikalischer Hinsicht verliefen die Versuche ausgesprochen positiv (37,120).

G. SCHMID führte in Bayern u.a. folgende Meliorationen durch:

Untergrundlockerung,

Untergrundlockerung mit Styromull und

Untergrundlockerung mit Tiefenkalkung.

Mit etwa 7 % der Ackerfläche Bayerns ist der Anteil der ackerbaulich schwierigen Böden mit einem Tongehalt von 45 - 75 % sehr groß.

Der Schwerpunkt des bayerischen Versuchsprogramms wurde in das fränkische Keupergebiet gelegt, da sich hier der größte Teil der schweren Böden Bayerns befindet. Die Versuche liegen auf Pelosolen des Gipskeupers auf Pseudogleyen aus Lößlehm über Lettenkeuper und auf tertiärem Ton in Südbayern.

Im Herbst 1966 wurden insgesamt neun Versuche auf sieben Standorten mit Tiefenlockerung auf schweren Böden angelegt. In Verbindung mit der Tiefenlockerung wurden als Stabilisatoren Kalk und Styromull eingebracht.

SCHMID erachtet diesen massierten und kombinierten Einsatz von 3 Meliorationsverfahren auf marmorierten Pseudogleyen für wirt-

schaftlich vertretbar und unumgänglich notwendig für einen nachhaltigen Erfolg auf diesen genetisch stark degradierten Böden. Nach den erst einjährigen Versuchsergebnissen zeigte sich, daß der größte Teil der Ernteergebnisse positiv, nur ein Versuch negativ und einer ± 0 ausgefallen war. Im gelockerten Bereich wurde bei allen drei Versuchsgliedern, (nur gelockert, gelockert + Kalk, gelockert + Styromull) das Porenvolumen um 2 - 4 % erhöht. Kaum verbessert wurde dagegen der Luftgehalt. Im Endeffekt war der Wassergehalt in den gelockerten Streifen angestiegen, da die durch die Lockerung entstandenen Hohlräume sich mit Niederschlagswasser gefüllt hatten.

Für die Frühjahrsbestellung ist dieser Umstand nicht von Vorteil. Dagegen dürfte aber das erhöhte Wasserangebot während der trockenen Sommermonate im wesentlichen zu den Mehrerträgen an diesem Standort beigetragen haben.

Die Meßwerte des Abscherwiderstandes und der Schlagsonde sind von Bodendichte und Bodenfeuchte abhängig, so daß höherer Wassergehalt und ein höheres Porenvolumen in den gelockerten Bereichen bei allen Versuchsgliedern zu günstigen Meßergebnissen mit Schlagsonde und Abscherwiderstand führten (106,108,110).

Seit 1958 wird vom Landeskulturamt Wiesbaden die Untergrundlockerung bei der hessischen Flurbereinigung eingesetzt. Sie soll u. a. auf verdichteten, staunassen Böden die wenig wirksame, oft völlig versagende, aber sehr kostspielige systematische Dränung ersetzen und ist demnach als "echte Melioration" vorgesehen. Je nach den klimatischen, Boden- und Geländeverhältnissen muß sie meistens mit einer weitmaschigen Rohrdränung kombiniert werden.

Die erste Fläche war von den Landwirten als aufforstungsreif aufgegeben worden. Hierbei handelte es sich um einen podsoligen Pseudogley auf Löß über Basalt. Da alle schluffreichen Böden nach einfacher Lockerung sehr schnell wieder verdichten, wurde gleichzeitig

Kalk in den gelockerten Gang eingebracht. Es wurde auf 70 cm Tiefe gelockert, wobei die oberen 30 cm umgepflügt wurden. Daneben wurde eine Teildränung durchgeführt. Die Meliorationen ergaben höhere Erträge bei leichterer Bewirtschaftung, gleichzeitig war die Kulturartenspanne größer als bei den benachbarten in üblicher Weise genutzten Flächen.

Im Frühjahr 1963 wurde eine 1,25 ha große Trockenfläche, Löß-lehmauflage auf verkittetem Terrassenschotter, 80 cm tief gelockert und gekalkt. Es wurden gute Ergebnisse erzielt, so daß 1965 damit begonnen wurde, flachgründige Tonschieferböden zu meliorieren. Das Profil wurde 80 cm tief intensiv flächenhaft gelockert und die dichte Lagerung des Schiefers zerstört. Die Erträge waren bedeutend gesteigert, so daß die Wirtschaftlichkeit dieser Melioration als gesichert zu betrachten ist. 1960 wurde neben der Tieflockerung auch das Tiefpflügen in Hessen eingesetzt. Auch mit dieser Meliorationsmaßnahme wurden in der Folgezeit gute Ergebnisse erzielt.

Insgesamt wurden von 1958 - 1967 in Hessen vom Landeskulturamt Wiesbaden 580,74 ha tiefgelockert und von 1959 - 1967 174,18 ha tiefgepflügt.

Als Beispiel für eine Unterbodenmelioration in Hessen soll hier kurz Heppenheim/Bergstraße angeführt werden. Im August 1967 wurden 25 ha tiefgepflügt (150 - 160 cm). Hier wurden die Bodentemperaturen gemessen. Im meliorierten Profil zeigte sich eine deutliche Erhöhung der Temperaturen gegenüber dem unmeliorierten Boden. Die Bodenfeuchte in Gew. % war vom tiefgepflügten Boden wesentlich niedriger als vom unmeliorierten. Diese Messungen zeigen die günstigen Auswirkungen der Melioration (Ausbau der Vorflut und Tiefpflügen) auf diesem Standort, dessen Bodentyp als Gley-Pseudogley zu bezeichnen ist.

2.3 Entwicklung der Lockerungstechnik für die Unterbodenmelioration

Nach 1950 gingen die Bestrebungen dahin, verdichtete Böden bis in eine Tiefe von mindestens 60 cm zu lockern. Um eine möglichst geringe Zugkraft zu benötigen und gleichzeitig eine optimale Lockerung zu erreichen, mußten neue Geräte entwickelt werden.

Zugkraft und Lockerung hängen in erster Linie von der Größe und der Neigung des Schares und von der Arbeitstiefe ab. Nach SCHULTE-KARRING (116) soll das Schar für eine 80 cm tiefe Lockerung eine Größe von ca. 6000 mm² und eine Neigung von 25 - 30° besitzen. Schon sehr früh wurden am Bundesversuchsinstitut für Kulturtechnik und technische Bodenkunde in Petzenkirchen (Österreich) umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Das Ergebnis war der Maulwurfsdränpflug M1, der wegen seiner guten Lockerung auch als reines Tieflockerungsgerät eingesetzt werden kann.

Im Laufe der Jahre wurde eine große Anzahl von Tieflockerungsgeräten entwickelt. Es handelt sich um ein- und mehrarmige Anbaugeräte für Schlepper und für Raupen und um Anhängegeräte. Auf die Einzelheiten soll hier nicht näher eingegangen werden.

Ein großer Teil dieser Geräte wurde von SCHULTE-KARRING geprüft und beschrieben (119).

Als typisches, gut arbeitendes Gerät sei hier nur der Würger 4/95 der Rabe-Werke genannt. Die Schwertlänge ist verstellbar. Das Gerät ist ausgerüstet mit Schneide, Steinsicherung, Zugklaue, Scheibensech, Stützrädern und Ziehkegel. Die maximale Arbeitstiefe im trockenen Pseudogley beträgt 950 mm. Die Schargröße ist 400 mm in der Länge sowie 150 mm in der Breite. (Abb. 1)



Abb. 1
Tieflockungs-
gerät
"Würger 4/95"

Bei allen diesen Geräten muß die gesamte Lockerungsarbeit über die Räder erfolgen. Um ein Durchdrehen der Räder, vor allem auf vernäßten Böden, zu vermeiden, müssen häufig schwerere Zugmaschinen eingesetzt werden, als es vom Kraftbedarf aus erforderlich wäre. SCHULTE-KARRING entwickelte mit der Firma BRENIG ein Gerät - den Hubschwenklockerer -, bei dem die Kraft der Zugmaschine über die Zapfwelle auf das Lockerungsgerät übertragen wird. Es handelt sich um ein Anbaugerät, das mit 2 Schwertern von 1 m Länge ausgerüstet ist, die über einen von der Zapfwelle angetriebenen Exzenter in Bewegung gesetzt werden. (Abb. 2)

Eine Weiterentwicklung ist der sog. Wippscharlockerer. Bei ihm wird ebenfalls durch einen Exzenter das Lockerungsschar bewegt. Beide Geräte haben einen relativ geringen Zugbedarf. (Abb. 3)

Bei dem Einsatz derartiger Lockerungsgeräte lag es nahe, gleichzeitig Pflanzennährstoffe oder Bodenverbesserungsmittel in den Untergrund zu bringen. So wurden eine Anzahl von Tieflockungsgeräten mit Düngungsanlage konstruiert. Auf die einzelnen Geräte soll hier nicht näher eingegangen werden. Als typisches Beispiel sei das Gerät UD 8 genannt. Es wurde von SCHULTE-KARRING mit der Firma Gnacke & Braun entwickelt. (Abb. 4)



Abb. 2
Hubschwenk-
lockerer



Abb. 3
Wippscharlockerer

Es ist mit einem Gebläse ausgerüstet. Dünger und Luft werden von dem Gebläse angesaugt und das Gemisch durch 2 Düngerröhren über besonders ausgebildete Düsen in den Untergrund gepreßt (118).

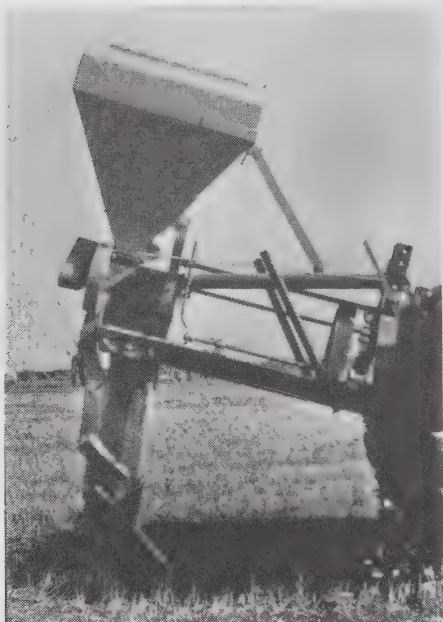


Abb. 4

"UD 8" Gnacke & Braun

Lockerungs- und Ausblasmoment liegen sehr günstig, da die Lockerungsschare bis zu den Düsen reichen. Die Schargrößen sind sowohl in der Länge wie in der Breite variabel bis maximal 400 und 150 mm. Die Arbeitstiefe beträgt maximal 800 mm. Die auszubringende Düngermenge und die Lockerung ist bei diesem und bei ähnlichen Geräten begrenzt.

Um eine optimale Verteilung größerer Düngergaben z.B. bei einer Meliorationskalkung zu erreichen, wurden weitere Maschinen entwickelt. Als Beispiel soll das Untergrundlockerungs- und Düngungsgerät der Firma DAVIDS genannt werden (118).



Abb. 5
Davids-Gerät

Es besitzt ein relativ großes Lockerungsschar mit einer Breite von 800 mm. Der Abstand der Lockerungsfurchen beträgt gewöhnlich ebenfalls 800 mm. Hierdurch soll eine optimale Lockerung des Bodens erreicht werden, welche die Voraussetzung für eine gute Verteilung des Kalkes ist, der mit Hilfe eines Gebläses in den Boden gebracht wird. Die Bearbeitungstiefe beträgt gewöhnlich 800 mm. Pro ha können dem Boden bis 50 dz Kalk zugeführt werden (118). (Abb. 5)

3. Untersuchungen auf drei Standorten

Das Institut für Landeskultur der Justus-Liebig-Universität beschäftigt sich seit 1959 mit den Fragen der Maulwurfdränung und hat seit 1963 auch die Unterbodenmelioration in sein Forschungsprogramm aufgenommen. Wichtige Ergebnisse von Untersuchungen auf zahlreichen Versuchsfeldern sind bereits veröffentlicht (10, 11, 63, 66, 84, 85). Die vorliegende Arbeit soll einen weiteren Beitrag zum Problem der Unterbodenmelioration durch Tieflockern leisten.

3.1 Beschreibung der Standorte

Die Versuche, die in dieser Arbeit beschrieben sind, wurden in den Jahren 1967 und 1968 auf den Standorten Eschweiler-Dürwiß im Aachener Braunkohlengebiet, Steinfurt im Vogelsberg und Grieth-Griethausen am Niederrhein durchgeführt. Alle drei Standorte wurden mit Tiefenlockerungsgeräten melioriert, Eschweiler-Dürwiß 1964, Steinfurt 1964 und Grieth-Griethausen 1966.

Eschweiler-Dürwiß wird seit 1964 ständig durch das Institut für Landeskultur beobachtet, so daß die hier vorliegenden Ergebnisse als Weiterführung der bisher getätigten Bodenuntersuchungen zu betrachten sind.

In Steinfurt wird die Melioration des Bodens ebenfalls seit 1964 von demselben Institut untersucht. Daher sind die im Rahmen dieser Arbeit gefundenen Ergebnisse ebenfalls eine Weiterführung der bisherigen Untersuchungen.

Während die beiden ersten Versuchsfelder längeren Beobachtungen unterlagen, wurden in Grieth-Griethausen zum ersten Male 1967/68 Untersuchungen durchgeführt.

3.11 Eschweiler-Dürwiß

Die Versuchsfläche Eschweiler-Dürwiß hat ein geringes Gefälle von etwa 1,7 ‰. Sie wird als Acker genutzt. Die Höhe über NN beträgt 163 m. Die durchschnittliche Niederschlagsmenge liegt bei 650 mm jährlich, die mittlere Temperatur bei 9° C (23).

Das Feld wurde im Herbst 1964 durch Tiefenlockerung und Dränung melioriert. Die Versuchsanlage umfaßt acht Parzellen, mit folgenden Meliorationsarten:

- | | | |
|----------|----|------------------------------------|
| Parzelle | 1: | Nullparzelle Nr. I |
| " | 2: | Rohrdränung |
| " | 3: | Nullparzelle Nr. II |
| " | 4: | Tiefenlockerung ohne Düngung |
| " | 5: | Tiefenlockerung mit Kalk |
| " | 6: | Tiefenlockerung mit Thomasphosphat |
| " | 7: | Tiefenlockerung mit Volldüngung |
| " | 8: | Maulwurfdränung |

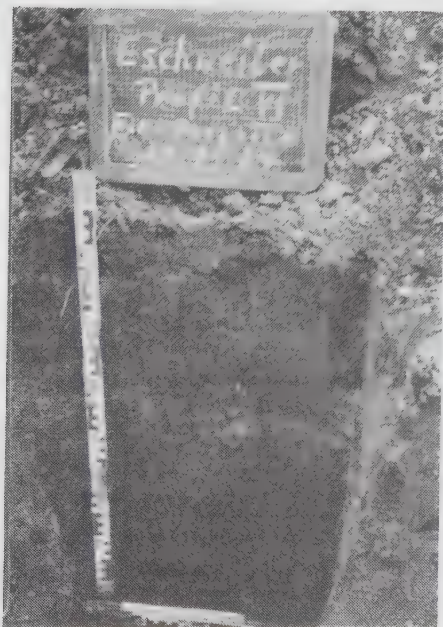
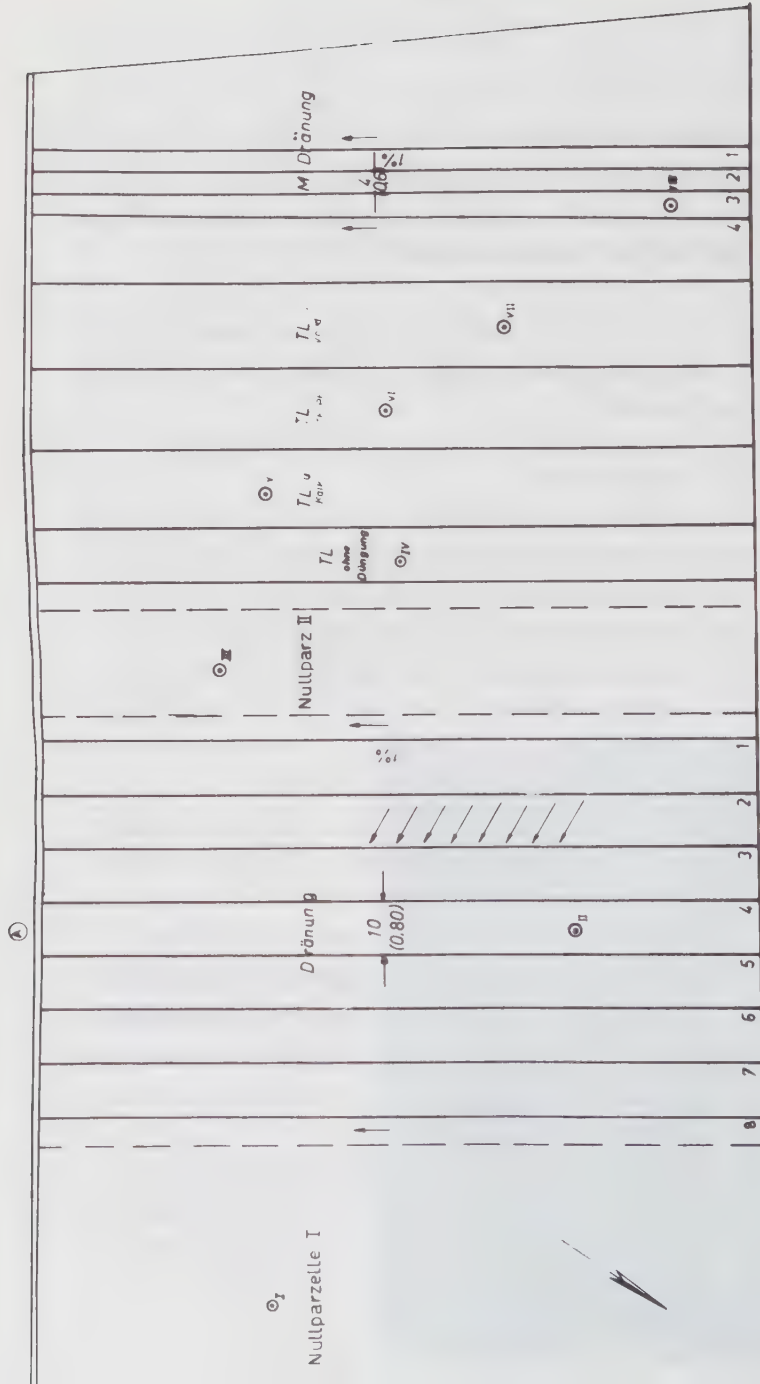


Abb. 6: Profil der unmeliorierten Parzelle vom Feld Eschweiler-Dürwiß



© = Eigentum

1
500

MELIORATIONSPLAN

Abb. 7
Eschweiler-Durwiss



Abb. 8: Profil der
Parzelle mit Tie-
fenlockerung in
Eschweiler-
Dürwiß
3 1/2 Jahre nach
durchgeführter
Melioration

Die Lage der Parzellen und die Lockerungsrichtung gehen aus der Abb. 7 hervor.

Bei dem Boden handelt es sich um einen Neuboden aus Löß. Das Ausgangsmaterial ist eine 1 bis 2 m mächtige im Trockenverfahren aufgebraute Lößauflage über sandig-kiesiger Rohkippe. Die Bodenart besteht aus lehmigem Schluff bis schluffigem Lehm (23). In der Textur entspricht das Bodenmaterial einem noch relativ unverwitterten Löß (84, 85).

Im Gegensatz zu den gewachsenen Lößböden bestehen rekultivierte Lößböden aus einem Gemisch aus Lößlehm und Lößmergel, das beim Abbau anfällt. Umgelagerte Böden besitzen daher kein einheitliches Profil. Der beim Umsetzen entstandene Verlust des natürlichen Gefüges bedingt eine verstärkte Neigung zu Verdichtungen und zur Verschlammung, die durch die Humusarmut des Materials noch zusätzlich erhöht wird (47, 80, 85).

Zur besseren Veranschaulichung sind in den Abbildungen 6 und 8 die nicht meliorierte und die meliorierte Parzelle anhand von Bodenaufschlüssen wiedergegeben.

3.12 Steinfurt

Der Standort befindet sich im Vogelsberg, 410 m über NN (Abb. 9). Die Versuchsfläche liegt in der Gewann "In den Eichen", Flur 2. Nr. 91 auf einem Südhang mit 3 - 4 % Gefälle. Die Jahresniederschläge betragen im Durchschnitt 950 mm, die mittlere Temperatur beträgt 7° C.

Als extensives Grünland wurde das Feld landwirtschaftlich praktisch vor der Melioration im Jahre 1964 kaum genutzt, nur ein schmaler Streifen wurde ackerbaulich bearbeitet.

Bis auf eine kleine Fläche wurde der Grünlandanteil durch Tiefumbruch melioriert. Der Ackeranteil und der verbliebene Grünlandanteil, bis auf eine kleine Nullparzelle, wurden im Herbst 1964 tiefge-lockert. Da der Bodenzustand mit pH 4,4 stark sauer war, wurden vor und nach dem Pflügen je 35 dz/ha Branntkalk gestreut. Eine Bedarfsdränung war wegen des Hangdruckwassers und der hohen Niederschläge notwendig.

Aus Abbildung 10 gehen die einzelnen Varianten hervor.

Bei dem Boden handelt es sich um einen Pseudogley aus Solifluktionsschutt mit geringen Lößbeimengungen über Basalt, zum Teil, besonders auf dem Grünland, ist er schwach podsolig.

Profilaufbau:

A ₁	0 - 15 cm	Grasnarbe, brauner, humoser, schluffigtoniger Lehm, polyedrisches Gefüge.
A ₂	15 - 30 cm	graubrauner, schluffigtoniger Lehm, ausgeprägtes Polyedergefüge, einige rostrote Eisenflecke.



Abb. 9: Geographische Lage der Versuchsfläche Steinfurt

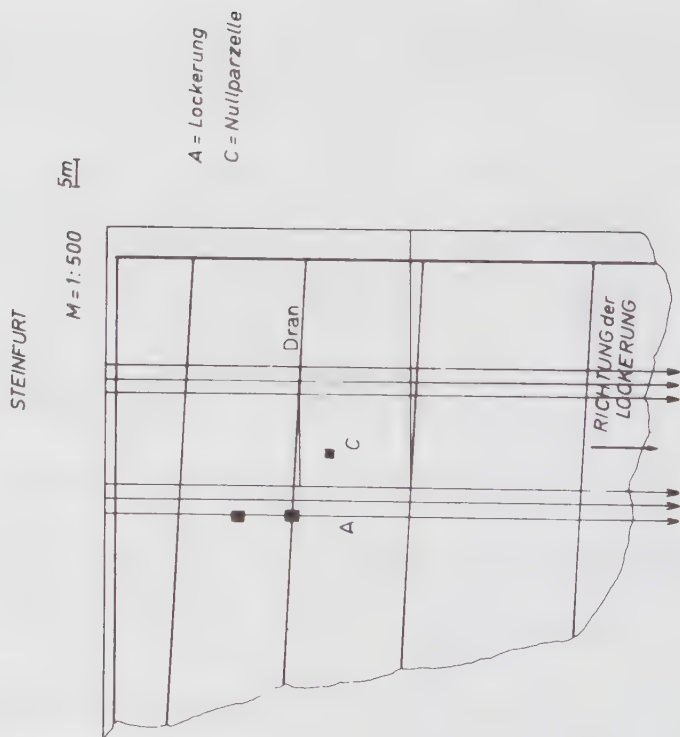


Abb. 10: Lageplan der Versuchsfläche Steinfurt



Abb. 11
Bodenprofil der
nicht gelockerten
Parzelle (Null-
parzelle) in
Steinfurt



Abb. 12
Bodenprofil aus der
tiefgelockerten Par-
zelle in Steinfurt,
3 Jahre nach durch-
geführter Melioration

S _w	30 - 40 cm	hellgrauer, schluffiger Lehm, taschenförmig in die benachbarten Horizonte übergreifend, an der Basis zahlreiche Eisen und Mangankonkretionen.
S _d	40 - cm	rostbrauner, fleckiger, schluffig-toniger Lehm, zahlreiche kleine und große Adern, dicht, plattiges Gefüge (11, 63).

Auf den beigegefügtten Abbildungen 11 und 12 sind die Bodenprofile der Nullparzelle sowie der gelockerten Parzelle wiedergegeben. Die Lockerungszone ist deutlich sichtbar.

3.13 Grieth-Griethausen

Die untersuchte Fläche liegt im Deich-Vorland am Niederrhein auf 15 m über NN. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge beträgt 764 mm, die mittlere Temperatur 9,8° C (28).

Die Versuchsfläche befindet sich unterhalb des Betriebes Schnitz - Strunk. Folgende Versuchspartzellen wurden auf der Weide angelegt:

1. Unbeeinflusst gebliebene Fläche.
2. Lockerungsfläche: ca. 14 m breit, bei einem Lockerungsabstand von 1,50 m. Die Lockerungstiefe betrug 0,80 m - 0,90 m.
3. Nullparzelle : ungelockert, ca. 14 m breit.
4. Lockerungsfläche: ca. 15 m breit, Lockerungsabstand 0,70 - 0,80 m.
5. Nullparzelle : ungelockert, ca. 8 m breit.

Das Gelände vor dem Deich Grieth-Griethausen (Abb. 13, 14) ist bei den Bauarbeiten zur Herstellung eines gleichmäßigen Gefälles vom Deichfuß zum Rhein von 1:300 zum größten Teil abgetragen worden.



Abb. 13: Abtrags- und Auftragsflächen des Feldes Grieth-Hausen

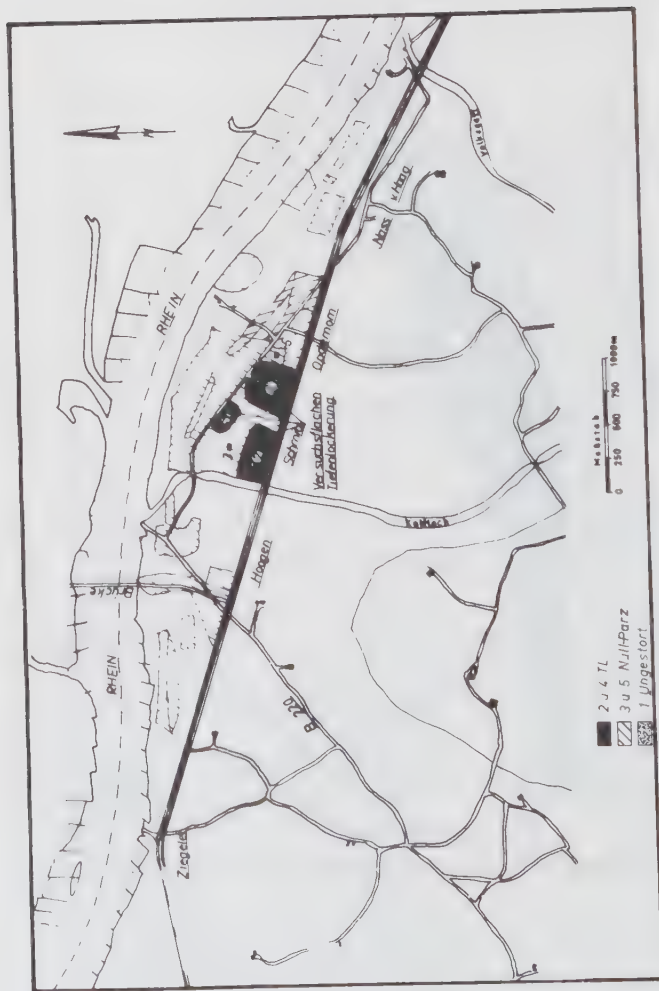


Abb. 14: Lageplan der Versuchsfläche Grieth-Griethausen

Die folgenden Abbildungen 15 und 16 zeigen das Profil des gewachsenen, unbeeinflusst gebliebenen Bodens und das Lockerungsprofil 1 9 Monate nach durchgeführter Tiefenlockerung.

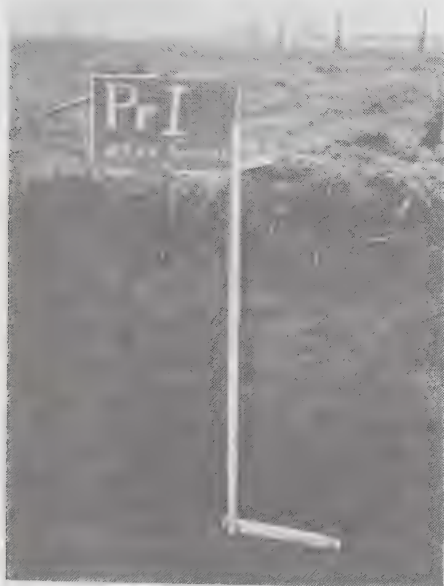


Abb. 15
Bodenprofil in
Grieth-Griethausen
auf der unbeein-
flußt gebliebenen
Fläche

Abb. 16
Bodenprofil in
Grieth-Griethausen
auf der gelockerten
Parzelle 1
9 Monate nach
durchgeführter Me-
lioration. Aus der
Lockerungszone
bricht der Boden
leicht heraus



Auf den Abbildungen 17 und 18 ist die Oberflächenansicht der unmeliorierten und der tiefgelockerten Parzelle wiedergegeben. Während auf dem verdichteten, nicht meliorierten Gelände Wasser stand, konnte es auf der gelockerten Fläche in den Boden versickern.

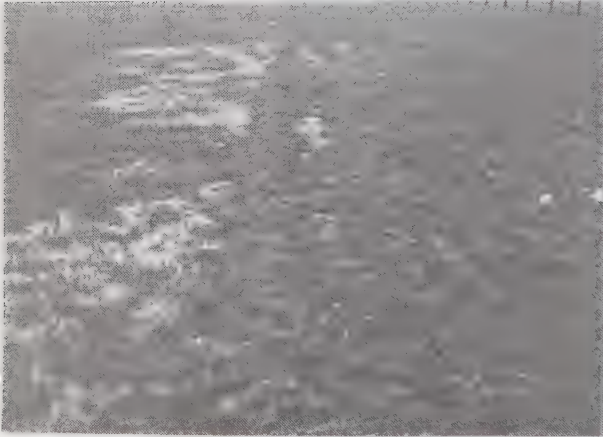


Abb. 17
Oberfläche der
unmeliorierten
Parzelle (links)
und der gelocker-
ten Parzelle
(rechts) in Grieth-
Griethausen

Abb. 18
Deutlich erkennbare
Lockerungsschlitzte
in der Bodenober-
fläche in Grieth-
Griethausen



Stellenweise beträgt der Abtrag mehrere Meter. Auf den Unterboden, der größtenteils aus Kies, z.T. auch aus Auelehm besteht, ist nach dem Abtrag eine Lehmdecke aufgebracht worden, deren Stärke mindestens 1 m betragen soll. Von einem Bodentyp kann hier wegen der künstlichen Umlagerung nicht gesprochen werden. Das Bodenmaterial für die Lehmdecke stammt aus dem gleichen Gebiet und ist als feinsandiger Lehm bis Lehm (Bodenart) und als kalkhaltiger brauner Auenboden (Bodentyp) anzusprechen.

Durch Überflutung im Gelände vor dem Deich ist seit der Fertigstellung der Bauarbeiten Bodenmaterial in wechselnder Stärke von 0 bis mehr als 30 cm abgelagert worden, wobei in Rheinnähe eine stärkere Auflage aus vorwiegend sandigem Material entstand, in größerer Entfernung vom Rhein eine schwächere Auflage von tonigem Schlick (67).

Die Tiefenlockerung wurde im September 1966 mit dem Gerät "Talisman" der Firma Eberhardt, Ulm, durchgeführt. Das Gerät ist in der Normalausführung ein Anhängergerät. Der Lohnunternehmer befestigte es jedoch starr in die Dreipunktaufhängung seines Schleppers. Wegen starker Beschädigung des Lockerungsgerätes mußten die Arbeiten vorzeitig abgebrochen werden (24, 79).

3.2 Untersuchungsmethodik

Für die Charakterisierung eines Bodenstandortes ist die Bestimmung der Bodenarten unerlässlich. In der vorliegenden Arbeit wurde die Korngrößenanalyse nach der Pipettmethode nach Köhn durchgeführt (130). Als Dispergierungsmittel diente Natriumpyrophosphat (60).

Die Messungen der pH-Werte wurden mit der Glaselektrode und in einer n KCl-Lösung vorgenommen. Zur Bestimmung des Karbonatgehaltes im Boden diente die Apparatur nach SCHEIBLER (130).

In früherer Zeit wurden zur Strukturbeschreibung und zur Bestimmung der Meliorationsmaßnahme vorwiegend Messungen des Gesamtporenvolumens angewandt (20,111). Diese Methode reicht heute allein nicht mehr aus, so daß in zunehmendem Maße auch die Porengrößen innerhalb des Gesamtporenvolumens in Betracht gezogen werden, um einen genaueren Einblick in den Luft- und Wasserhaushalt des Bodens zu erlangen. In der Literatur sind die Bestimmungsmethoden und Auswertungsmöglichkeiten hinreichend beschrieben worden (14, 41, 44, 74, 97, 101, 102).

Die Untersuchungen auf Bodenluftgehalt wurden mit 100 cm³ fassen- den Stechzylindern mit Hilfe des Luftpyknometers nach LOEBELL (59) durchgeführt.

Der Wassergehalt wurde bei 105⁰ C Trocknung bestimmt, auf Trockenboden bezogen.

Die Ergebnisse der Porengrößenbereiche wurden durch Entwässerung der Bodenproben bis zum Gleichgewichtszustand der Bindungskraft des Bodenwassers und der angelegten Spannung gewonnen. Als Meßwert gilt der pF-Wert. Grundlage zur Porengrößendarstellung sind Grenzwerte nach folgender Einteilung (18):

Porenbezeichnung	Porendurchmesser in μ	pF-Wert	cm WS
grobe Poren			
sehr schnell dränend	> 120	1,4	25
schnell dränend	120-50	1,4-1,77	25-60
langsam dränend	50-10	1,77-2,54	60-344
mittlere Poren	10-0,2	2,54-4,2	344-15000
feine Poren	$< 0,2$	4,2	15000

Der pF-Wert 2,54 ist ein wichtiger Kennwert zur Beurteilung des Bodenwasserhaushaltes, er dient als angenäherte obere Grenze des pflanzenverfügbaren Wasseranteils. In den niedrigen pF-Bereichen bis pF-2,54 wurden die Porengrößenmessungen mittels keramischer Platte und hängender Wassersäule durchgeführt (18).

Der Welkepunkt stellt die untere Grenze des Anteils pflanzenverfügbaren Wassers dar. Damit kommt der genauen Bestimmung des Welkepunktes eine große Bedeutung zu. Die Werte wurden mit dem Druckmembranapparat der Firma STIEL, Hannover, ermittelt (39).

Die Wasserdurchlässigkeit im gesättigten Zustand wird durch die Errechnung des kf-Wertes, Durchlässigkeitsbeiwert oder kurz Durchlässigkeit, bestimmt. Die Messung beruht auf dem Filtergesetz von DARCY. In der Literatur ist die Theorie des kf-Wertes und die Methodik seiner Bestimmung ausgiebig diskutiert worden. Die Geschwindigkeit, mit der eine bestimmte Wassermenge bei einem vorliegenden Gefälle einen Querschnitt pro Zeiteinheit durchfließt, der senkrecht zur Strömungsrichtung liegt, ist der kf-Wert. Er gibt allerdings nur eine scheinbare Geschwindigkeit an, da er nicht nur auf den tatsächlichen wasserführenden Querschnitt bezogen wird, sondern auf den gesamten. Der kf-Wert ist eine Bodenkonstante, die zur Zeit der Messung bzw. der Bodenentnahme den herrschenden Strukturstand wiedergibt, so daß der kf-Wert über größere Zeiträume Schwankungen aufweist (12, 39, 40, 43, 45, 138, 139, 141, 142).

Die kf-Werte wurden von 100 cm³ fassenden Stechzylindern mit Hilfe des modifizierten Kaminski-Gerätes ermittelt (42). Die kf-Werte werden in verschiedene Durchlässigkeitsbereiche eingeteilt, und als Beurteilungsgrundlage soll folgende Übersicht dienen (142).

<u>Durchlässigkeit</u>	<u>cm/s</u>
sehr hohe	über 1×10^{-2}
hohe	von 1×10^{-2} bis 1×10^{-3}
mittlere	von 1×10^{-3} bis 1×10^{-4}
geringe	von 1×10^{-4} bis 1×10^{-5}
sehr geringe	unter 1×10^{-5}

Neben der Bestimmung des Porenvolumens ist die Ermittlung eines Zahlenwertes für die Bodendurchlüftung wichtig, da ein hohes Porenvolumen nicht gleichzeitig eine gute Durchlüftung bedeutet.

Die Messungen wurden mit dem Gerät nach RID (88) durchgeführt. Als Beurteilungsgrundlage dient die von RID aufgestellte Tabelle:

sehr gute Durchlüftung	0 - 0,15 kg/cm ²
gute Durchlüftung	0,15 - 0,30 kg/cm ²
noch genügende Durchlüftung	0,30 - 0,45 kg/cm ²
schlechte Durchlüftung	0,45 - 0,60 kg/cm ²

Der Einsatz von Sonden ist eine einfache Möglichkeit, Lockerungszonen nachzuweisen. Dabei können jedoch keine Rückschlüsse auf bestimmte Struktureigenschaften getroffen werden. Bei dieser Methode wird lediglich der Widerstand gemessen, den der Boden dem Eindringen eines Konus entgegensetzt.

Die zur Untersuchung verwendeten Geräte waren die Goudsche Drucksonde (38) und die Rammsonde nach BOGUSLAWSKI und LENZ (5). Die Drucksonde wurde auf allen Versuchsfeldern eingesetzt, die Rammsonde nur in Eschweiler-Dürwiß.

Die vom Bodenwassergehalt abhängige Widerstandsmessung erforderte die sofortige Bestimmung des Wassergehalts. Teils wurde eine Extramessung an verschiedenen Terminen vorgenommen, ein-

mal um diese auf Gefügeveränderungen hin zu vergleichen, zum anderen um auch die verschiedenen Meliorationsvarianten untereinander zu vergleichen. Die Bestimmungen wurden mit 10 cm langen und 3 cm dicken Bohrkernen eines Bodenbohrers durchgeführt. Die Angaben sind in Gew. %, auf Trockenboden bezogen, wiedergegeben.

Vom Standort Eschweiler-Dürwiß wurden Bodendünnschliffe angefertigt für Gefügebeobachtungen unter dem Mikroskop. Die Bodenschliffe wurden nach der Plexigum-Methode (13,14,15) hergestellt und die beigefügten Fotos mit dem Aristophot von Leitz aufgenommen.

Vom Standort Eschweiler-Dürwiß wurden außerdem im Herbst 1967 Ertragsmessungen durchgeführt. Vom Zuckerrübenbestand wurden der Rübenерtrag in dz/ha, das Blattgewicht in dz/ha und der Zuckergehalt ermittelt. Je Versuchsparzelle wurden 3 Flächen von 3,65 m² Größe geerntet.

3.3 Untersuchungsergebnisse

3.31 Eschweiler-Dürwiß

Korngrößenzusammensetzung

Die Korngrößenzusammensetzung auf dem Versuchsfeld zeichnet sich durch den hohen Anteil Schluff, 74-80 % aus. Der Tongehalt beträgt nur 13-18 % (Tab. 1).

Tabelle 1: Korngrößenverteilung Eschweiler-Dürwiß nach Reutzel (84)

<u>Tiefe</u>	T 2 μ	fU 2-6 μ	mU 6-20 μ	gU 20-60 μ	fS 60-200 μ	gS 200-2000 μ
10-15 cm	18,5%	4,2%	22,0%	50,0%	3,2%	2,1%
30-35 "	15,2%	4,7%	18,0%	56,8%	3,2%	2,1%
50-55 "	15,0%	4,6%	18,0%	56,9%	3,5%	2,0%

Nach Ansicht vieler Autoren ist die Fraktion 2-60 μ wichtig zur Charakterisierung eines Lösses, da sie in einem typischen Lößverteilungsdiagramm durch ihren hohen Anteil auffällt und in ihr ein Großteil primärer Tonminerale enthalten ist (72,84,103).

Reaktionsverhältnisse

Wie die Tab. 2 zeigt, liegen in Eschweiler-Dürwiß auf dem Versuchsfeld die pH-Werte im neutralen Bereich zwischen 6.6-7,2.

Tabelle 2: pH-Werte des Feldes Eschweiler-Dürwiß

Tiefe cm	TL + Volldüng. pH-Wert	TL + Kalk pH-Wert	TL + Thomas- phosph. pH-Wert	Nullparz. pH-Wert
0-20	7,2	6,8	7,1	7,1
20-40	7,3	6,8	7,0	7,2
40-60	7,2	6,7	6,6	6,7
60-80	6,8	6,8	6,6	6,7

Die Karbonatgehalte liegen zwischen 0,91 und 9,15 %. Diese Werte geben deutlich die unterschiedlichen Mischungsverhältnisse von Lößlehm : Lößmangel wieder. Bei einem Karbonatgehalt von 0,91 % bedeutet das einen Anteil von 5 % Lößmangel, der bis auf ca. 50 % ansteigt bei 9,15 % Karbonat (84).

Gesamtporenvolumen und Porengrößenverteilung

Bei den Messungen in Eschweiler-Dürwiß ergaben sich 1967 für das Gesamtporenvolumen bei den Nullparzellen niedrige Werte und relativ hohe Werte für den Welkepunkt. Dabei ist die Nullparzelle I bodenphysikalisch schlechter zu bewerten als die Nullparzelle II, was wohl auf ungleiche Kippung zurückzuführen ist.

Dagegen zeigten die meliorierten Parzellen durchweg ein Ansteigen

des Gesamtporenvolumens und ein Absinken des Welkepunktes. Allerdings lassen sich zwischen den verschiedenen Meliorationsmaßnahmen keine schwerwiegenden Unterschiede feststellen. Die Messungen von 1968 entsprechen in der Relation den Werten von 1967. Wie Abb. 21, 22, 25 und Tab. 14, 15 und 16⁺) zeigen.

Messungen der Wasserdurchlässigkeit

In Eschweiler-Dürwiß zeigen die Tieflockerungsversuche eine deutliche Verbesserung des Bodens in Bezug auf die Wasserdurchlässigkeit. Während die Nullparzelle I Durchlässigkeitswerte in dem Bereich "sehr gering" bis "gering" zeigt, haben die Meliorationsmaßnahmen eine Durchlässigkeitssteigerung bewirkt. Die Werte liegen bei "hoch" bis "sehr hoch". Die Nullparzelle II besitzt Durchlässigkeitswerte zwischen "mittel" bis "gering". Vergleicht man die Parzelle Maulwurfdränung mit den tiefgelockerten Parzellen, ergibt sich bei der Tieflockerung eine Verbesserung der kf-Werte im Durchschnitt um eine Zehnerpotenz (Abb. 26 und Tab. 17).

Auffällig ist die allgemeine Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit Mai 1968, was wohl mit der Vorfrucht Zuckerrüben des Jahres 1967 in Verbindung gebracht werden kann.

Messungen der Luftdurchlässigkeit

In der Abb. 27 werden die Ergebnisse der Luftdurchlässigkeit wiedergegeben, die mit dem RID-Gerät (88) ermittelt wurden. Trotz des hohen Druckes von 0,5 - 0,6 at ließen die Nullparzellen in den verschiedenen Tiefen das Gas nicht den Boden perkolieren. Aber auch die Meliorationsparzellen zeigten kaum eine Luftdurchlässigkeit (Tab. 18). Allerdings ist der im Mai noch relativ hohe Wassergehalt zu berücksichtigen, ein begrenzender Faktor bei der Anwendbarkeit dieses Gerätes.

+) Die Tabellen befinden sich im Abschnitt 6 "Tabellenanhang".

Eschweiler-Dürwiß

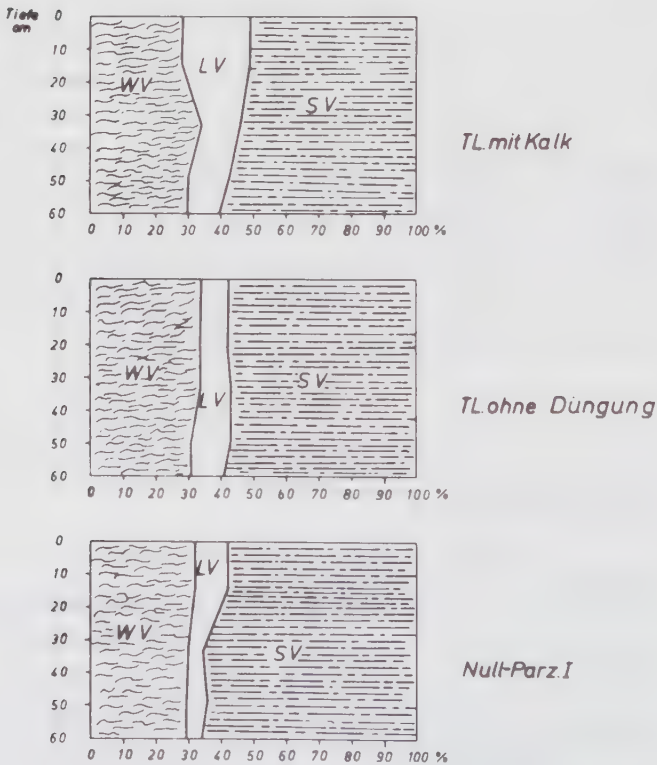


Abb. 19: Luft-Wasser-Verhältnisse des Feldes Eschweiler-Dürwiß
Mai 1967

Eschweiler-Dürwiss

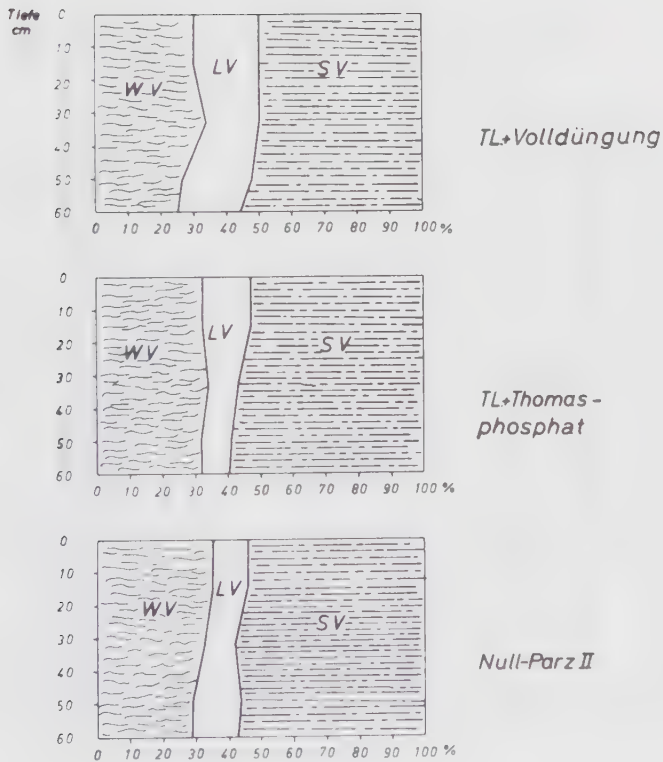


Abb. 20: Luft-Wasser-Verhältnisse des Feldes Eschweiler-Dürwiß
Mai 1967

Eschweiler - Dürwiß

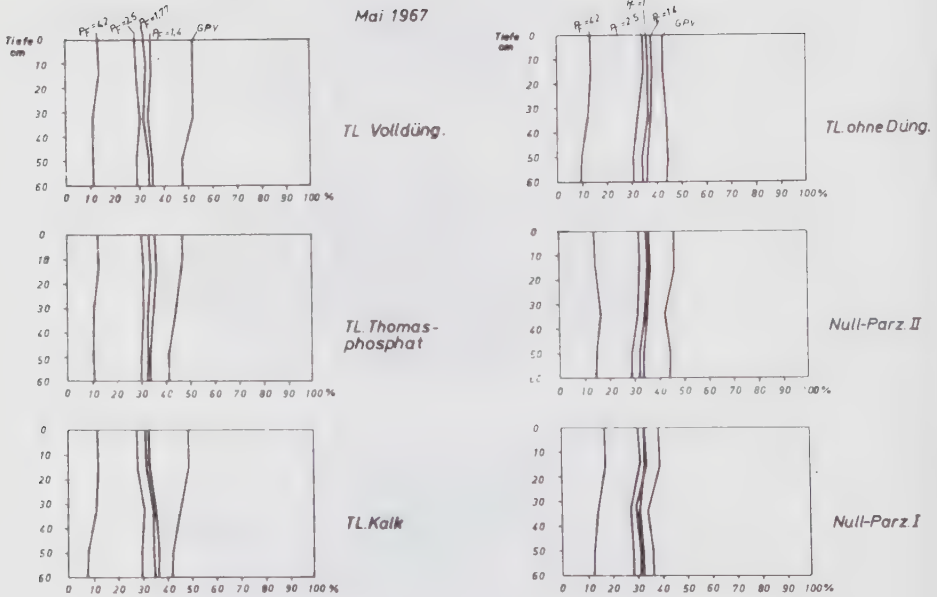


Abb. 21: Gesamtporenvolumen und Porengrößenverteilung in Vol. %
des Feldes Eschweiler-Dürwiß
Mai 1967

Eschweiler - Dürwiß, November 1967

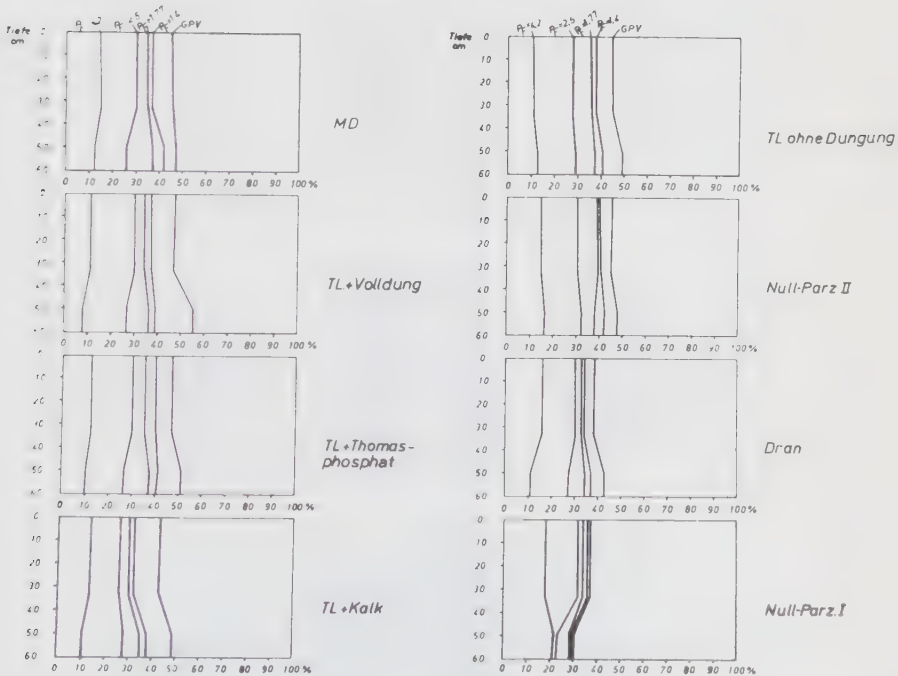


Abb. 22: Gesamtporenvolumen und Porengrößenverteilung in Vol. %
des Feldes Eschweiler-Dürwiß
November 1967

Eschweiler-Dürwiß

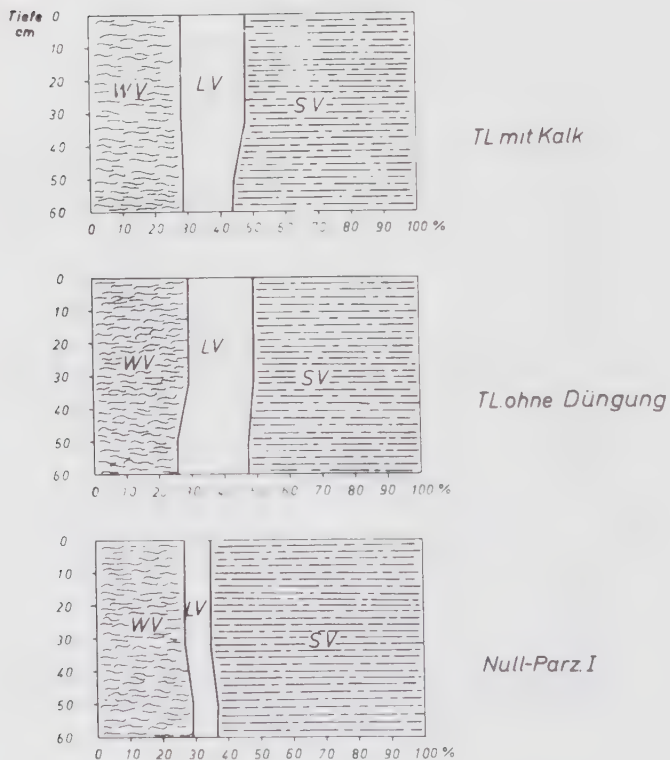


Abb. 23: Luft-Wasser-Verhältnisse des Feldes Eschweiler-Dürwiß
Mai 1968

Eschweiler-Dürwiß

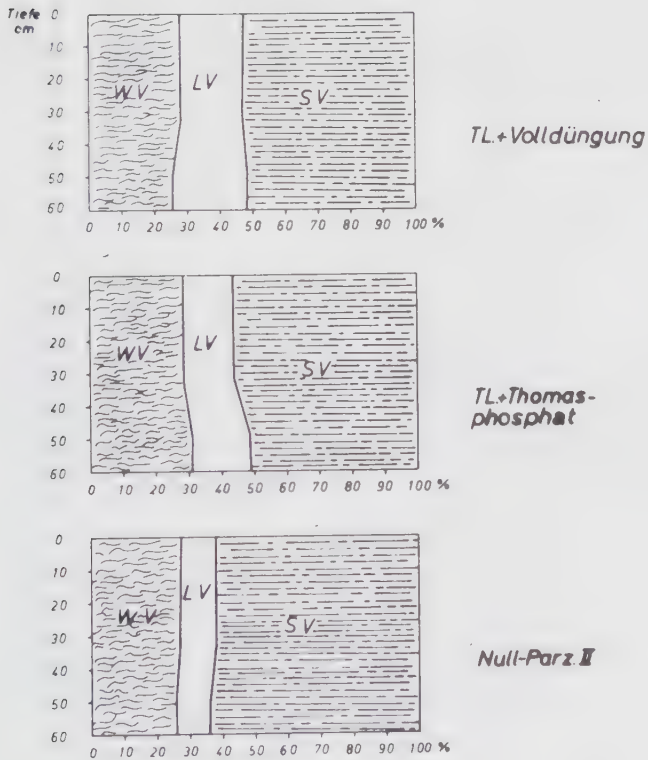


Abb. 24: Luft-Wasser-Verhältnisse des Feldes Eschweiler-Dürwiß
Mai 1968

Eschweiler-Dürwiß

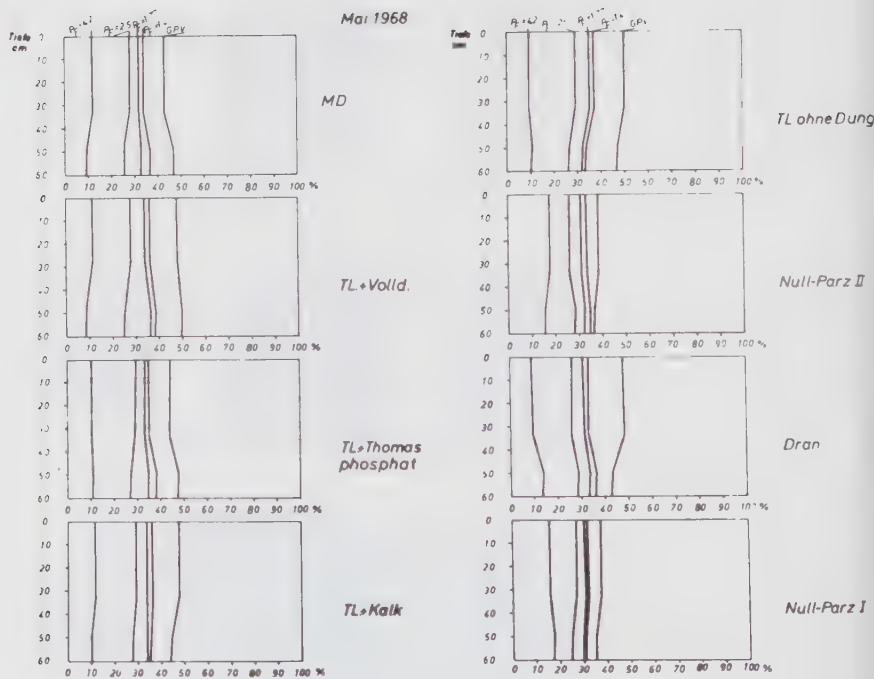


Abb. 25: Gesamtporenvolumen und Porengrößenverteilung in Vol. %
des Feldes Eschweiler-Dürwiß
Mai 1963

Eschweiler-Dürwiss

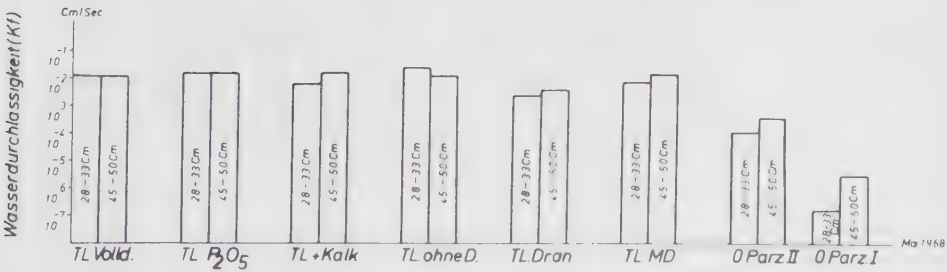
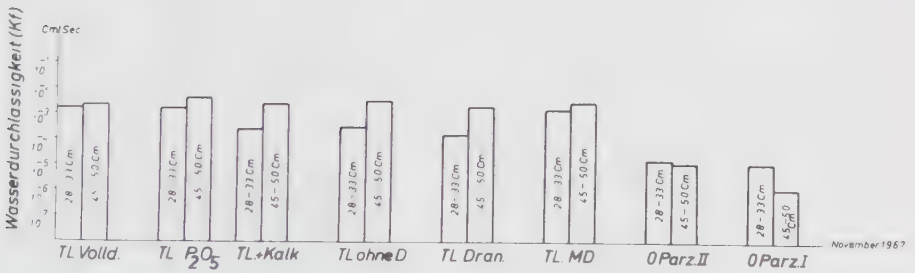
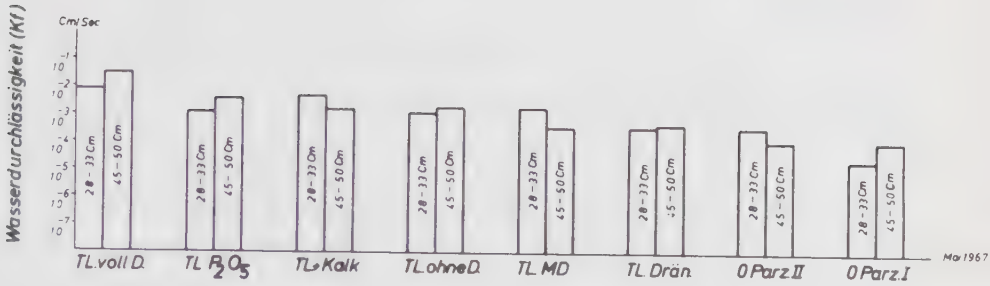


Abb. 26: Wasserdurchlässigkeit des Feldes Eschweiler-Dürwiß

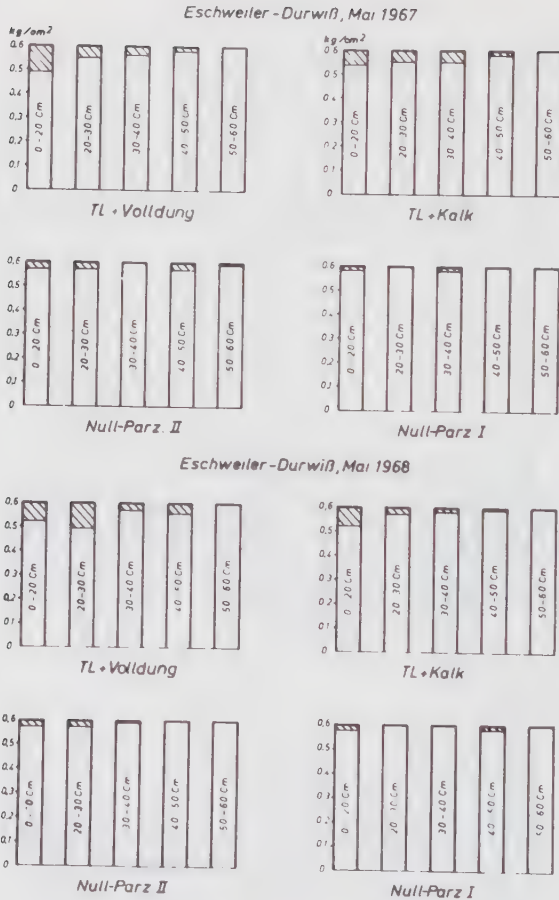


Abb. 27: Luftdurchlässigkeit des Feldes Eschweiler-Dürwiß
Mai 1967 und 1968

Nachweis der Lockerung durch Widerstandsmessungen

Eine gute Wiedergabe der Lockerungszone und einer entstehenden Pflugsohlenverdichtung ist mit der Sondenmessung möglich. Die anzuwendenden Drucke gehen stark in der Lockerung zurück. Allerdings sind die Messungen abhängig vom jeweiligen Bodenwassergehalt.

In den Tabellen 23, 24, 25, 26 ist diese Abhängigkeit der Messungen vom Wassergehalt wiedergegeben. Es zeigt sich, wie v. BOGUSLAWSKI und LENZ (5,6) feststellten, daß der Bodenwiderstand vom jeweiligen Wassergehalt beeinflußt wird, und daß der Bodenwiderstand mit abnehmendem Wassergehalt steigt (Abb. 32, 33).

In Eschweiler-Dürwiß wurde 1967 der Bodenwiderstand mit der Goudaschen Drucksonde und der Rammsonde gemessen. 1968 kam nur die Rammsonde zum Einsatz. In den Tabellen 20, 21, 22 wurden für 1967 daher sowohl die Rammsonden- wie auch die Drucksondenmessungen berücksichtigt.

Bei den Ergebnissen vom Mai 1968 scheinen sich besonders bei der Lockerung mit Volldüngung und Thomasphosphat Setzungsvorgänge widerzuspiegeln, teils wirken sich die höheren Wassergehalte im Mai 1967 (Abb. 28, 29, 30, 31) auch erniedrigend auf den Bodenwiderstand aus. Aber allgemein sind keine gravierenden Unterschiede vorhanden.

Feld Eschweiler-Dürwiß, Mai 1967

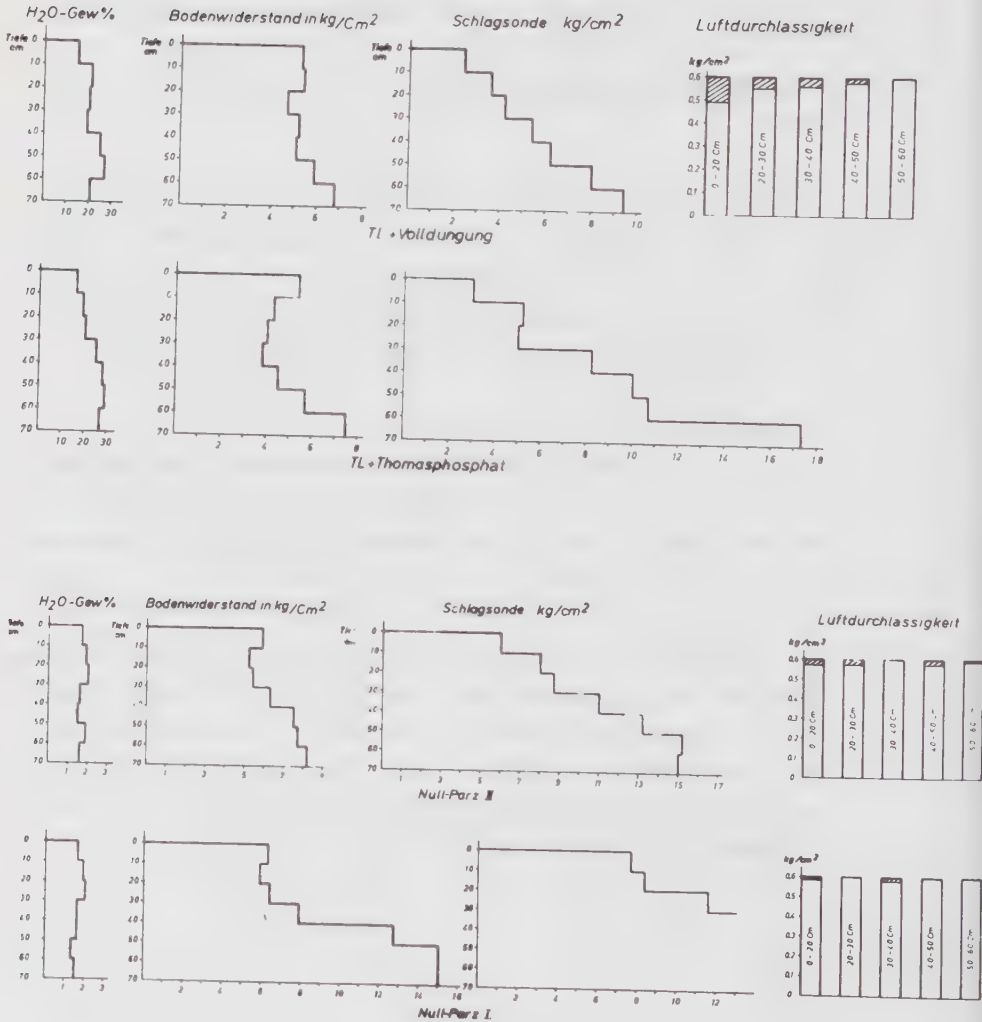


Abb. 28: Messungen des Bodenwiderstandes, der Bodenfeuchte und der Luftdurchlässigkeit von Feld Eschweiler-Dürwiß
Mai 1967

Feld Eschweiler-Dürwiß, Mai 1967

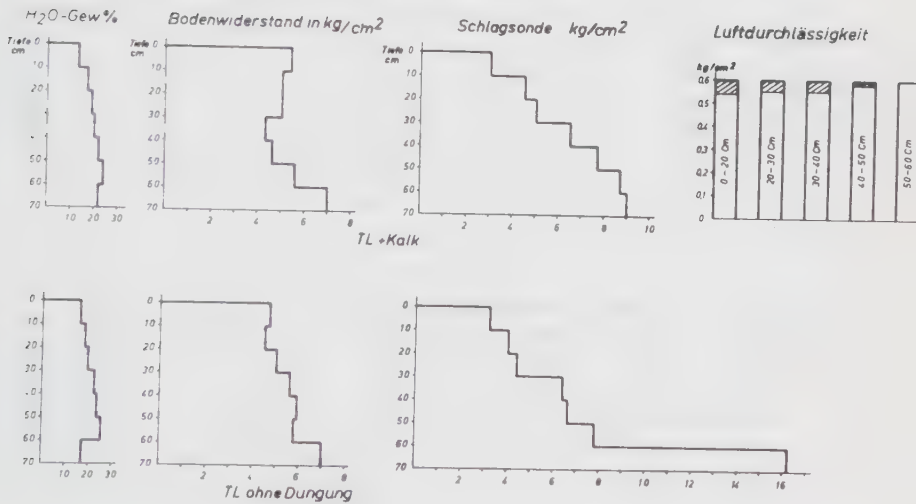


Abb. 29: Messungen des Bodenwiderstandes, der Bodenfeuchte und der Luftdurchlässigkeit von Feld Eschweiler-Dürwiß
Mai 1967

Feld Eschweiler-Dürwiß, Mai 1968

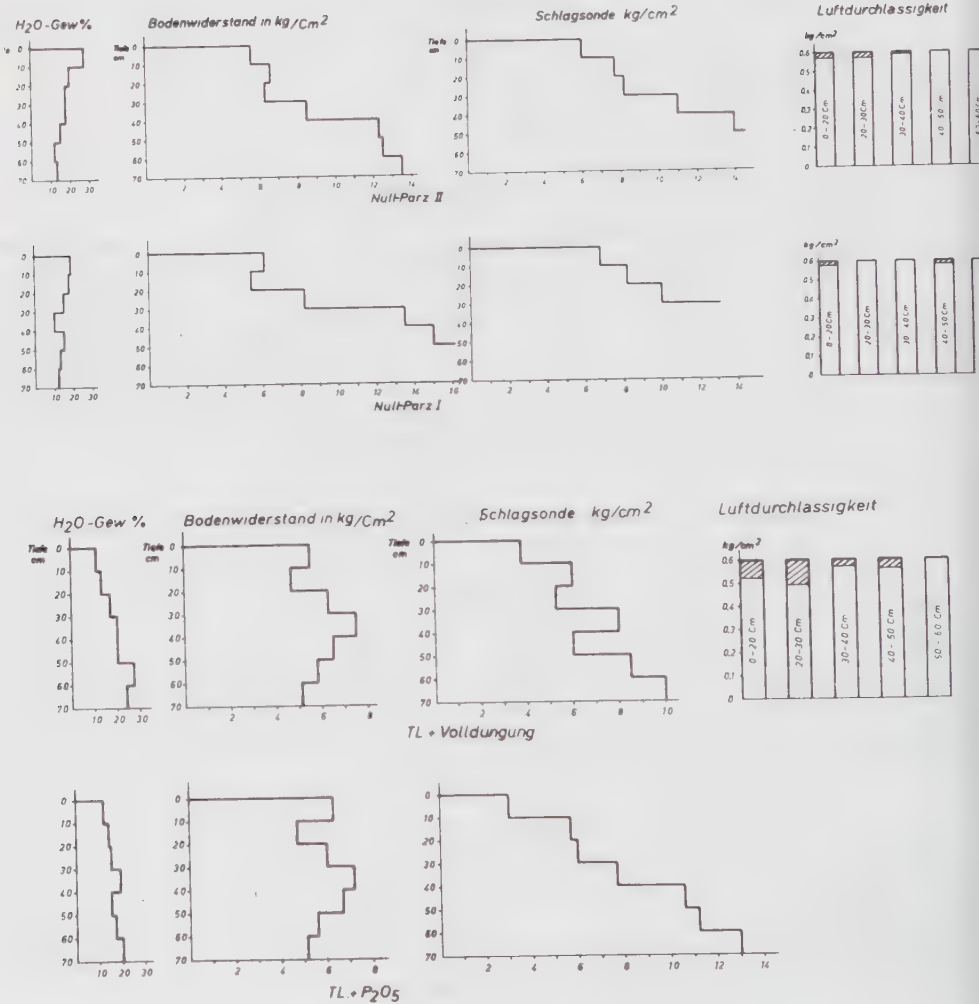


Abb. 30: Messungen des Bodenwiderstandes, der Bodenfeuchte und der Luftdurchlässigkeit von Feld Eschweiler-Dürwiß Mai 1968

Feld Eschweiler-Dürwiß, Mai 1968

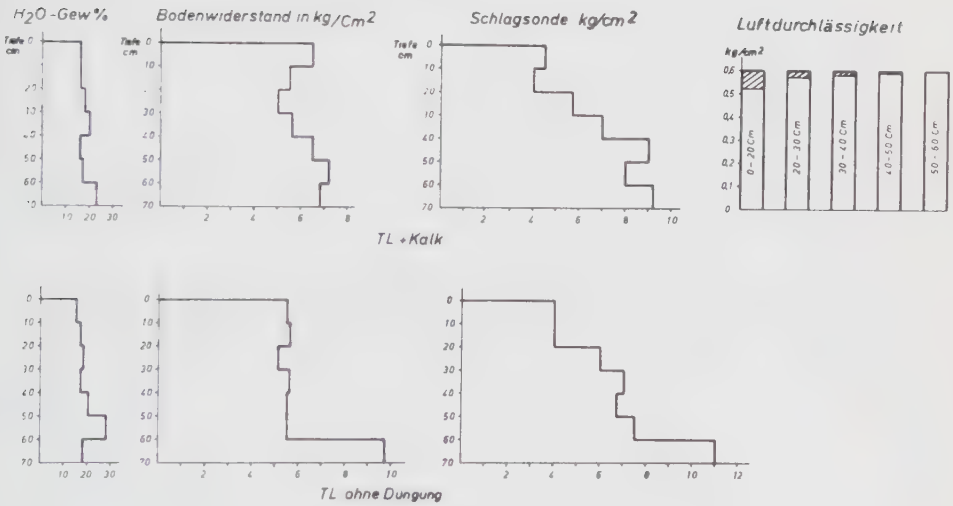


Abb. 31: Messungen des Bodenwiderstandes, der Bodenfeuchte und der Luftdurchlässigkeit von Feld Eschweiler-Dürwiß
Mai 1968

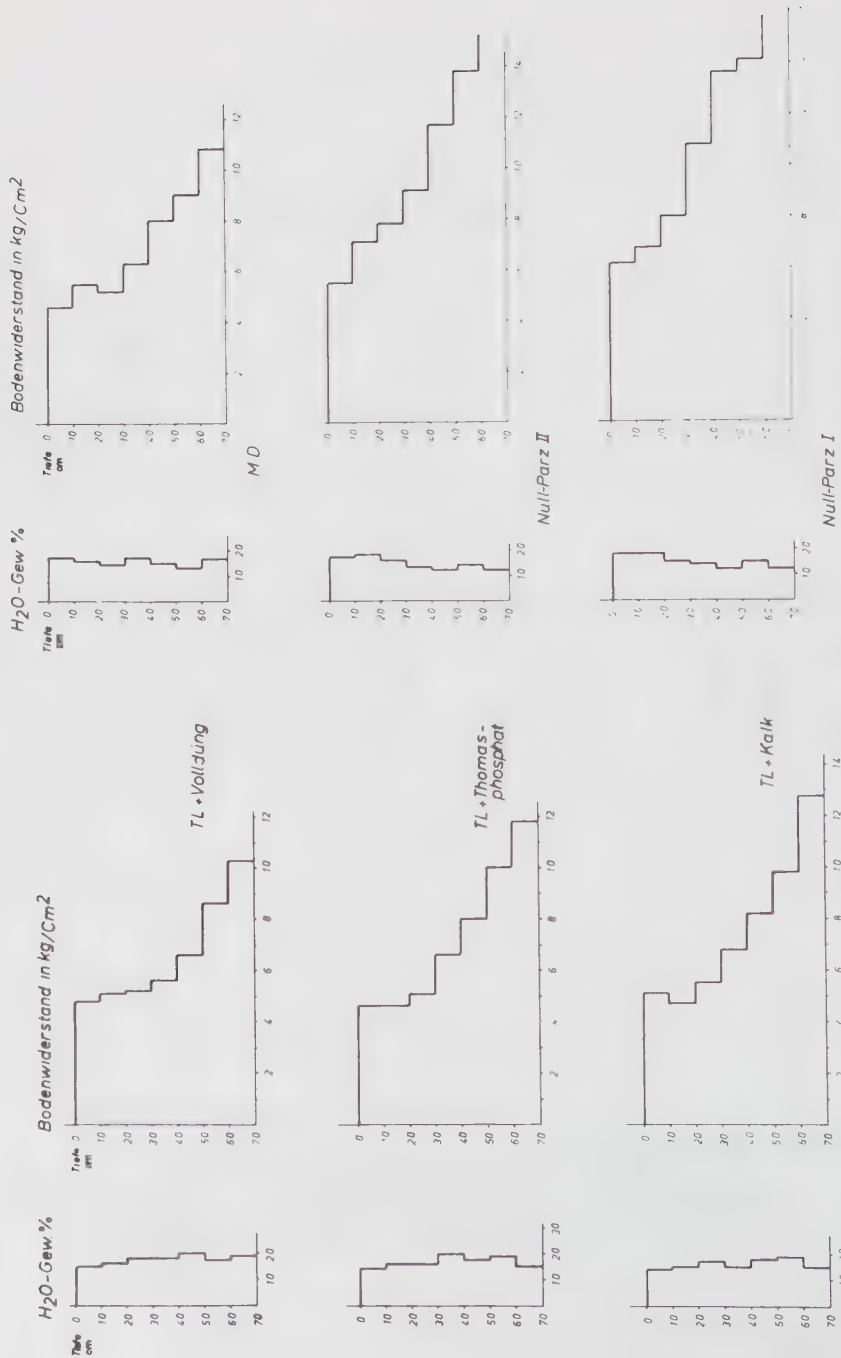


Abb. 32: Nachweis der Lockerung durch Messung des Eindringwiderstandes und der Bodenfeuchte des Feldes Eschweiler-Dürwiß, November 1967

Nullparzelle 60-70 cm = 100, abgelesen 38,5 Schläge/100 cm $W B = \frac{a \cdot b \cdot h}{6} = \text{kg/cm}^2$

Eschweiler-Dürwiß, Mai 1967

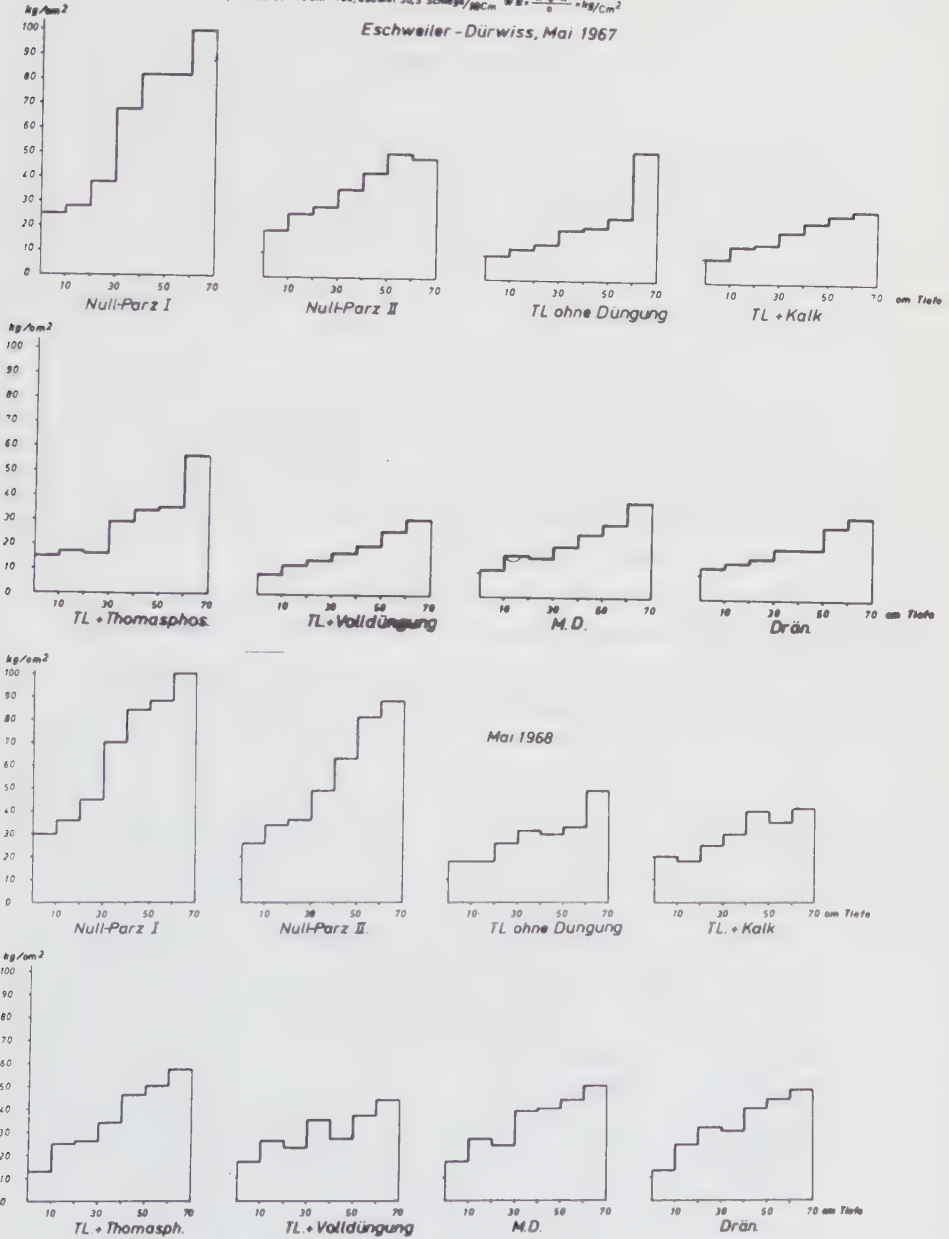


Abb. 33: Relativ-Werte der Schlagsondenmessungen in Eschweiler-Dürwiß, Mai 1967 und 1968, Nullparzelle I = 100

Eschweiler - Dürwiß

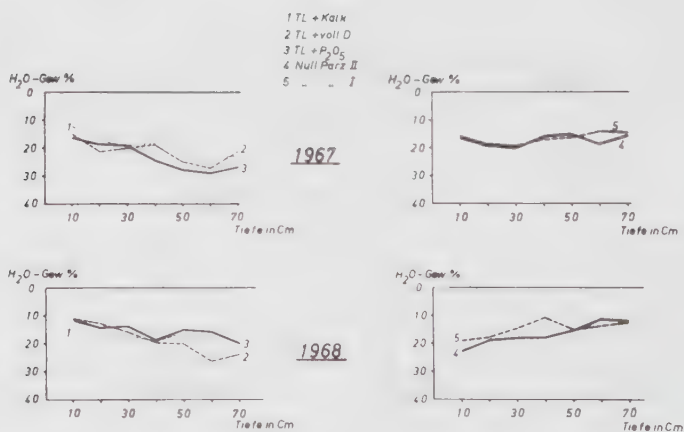


Abb. 34: Bodenfeuchtebestimmung des Feldes Eschweiler-Dürwiß
Mai 1967 und 1968

Mikromorphologische Bodenuntersuchung von Eschweiler-Dürwiß

Im folgenden werden Bilder des Bodengefüges in 28-36 cm und 45-53 cm Tiefe von der Nullparzelle, der Parzelle mit Tieflockerung und Kalkung und der Parzelle mit Tieflockerung und Volldüngung beschrieben. (7, 8, 10, 12, 14)

Der Bildmaßstab beträgt 1,4:1.

Nullparzelle

Bodentiefe: 28-36 cm (Abb. 35)

In einer gelblich-hellbraunen, dichten, schluff-feinsandreichen Bodenmasse liegen rötlich-dunkelbraune Aggregate, die durch starke Bodenbewegung und damit verbundenem Abrieb abgerundete Formen besitzen. Im Innern dieser wahrscheinlich älteren und von der Kippe noch stammenden Aggregate sind Schwebmaterialanreicherungs-bänder und goldgelb gefärbte mit Kolloidmaterial angereicherte Partien zu sehen. Dies deutet auf verlehmtten Lößboden hin. Vereinzelt lassen sich kleine Reste reinen goldgelben Kolloidmaterials (Tons) finden.

Durch die Trocknung lösten sich die im Innern stabileren Aggregate vom umgebenden Boden. Der große im oberen Bildteil durchgehende Riß ist bei der Probeentnahme entstanden. Nur im oberen Bildteil sind einige abgerundete Hohlräume und Aggregate biogenen Ursprungs. Oben rechts Wurzelreste in einem größeren Hohlraum. Diese Bodenprobe ist aus der Bearbeitungszone entnommen. Das Feld wurde im Herbst gepflügt, mit Wintergerste eingesät und war im Mai bei der Probenahme mit kniehohem Getreide bestanden. Das Bodengefüge in der Untersuchungsprobe aus der Nullparzelle ist weit mehr zusammengefallen, verdichtet und hohlraumärmer als in den Vergleichsproben der tiefgelockerten Parzellen.

Bodentiefe: 45-53 cm (Abb. 36)

Ein schlauchförmiger Hohlgang durch den ganzen Bodenanschnitt ist durch buchtige Formen und nicht parallel zueinander passende Abgrenzungen gekennzeichnet, also vorgebildet und durch die Trocknung erweitert. Mehrere Trockenrisse durchziehen den im übrigen dichten Boden spitz auslaufend.

In sich fester gefügte Bodenteile trennen sich bei der Trocknung vom umgebenden loseren Bodenmaterial (Abb. 36 unten). Im Innern weisen diese Bodenteile einen größeren Anteil Mittel- und Grobsand auf (in Abb. 36 unten und oben links) als der sie umgebende schlufffeinsandreiche Boden. Außer einigen sich dunkelbraun absetzenden, dicht eingebetteten, meist abgerundeten Aggregaten besteht kaum eine Aggregatbildung. Im Bild unten links und oben rechts befinden sich einige größere Quarze.

Tieflockerungsparzelle mit Kalkung.

Bodentiefe: 28-36 cm (Abb. 37)

Die lockere Lagerung der Bodenaggregate, ihre spitz - kantigen, durch Bodenaufbrechen und Verschieben entstandenen künstlichen Formen und die weißgrauen Feinsandanreicherungen, die früher horizontal abgelagert, jetzt hochkant stehen und langsam abbröckeln (Bildmitte), weisen auf die Pflugarbeit hin. Im Gegensatz zur Vergleichsbodenprobe der Nullparzelle ist das Gesamtgefüge noch nicht durch Zusammenrutschen der Gemengteile verdichtet. Gut erkennbare abgerundete Bodentieraggregate von Regenwürmern wie Collem-bolen bilden mit den Aufbrechaggregaten ein lockeres, hohlraumreiches Gefüge.

Unter dem Mikroskop sind mehrere zellige Wurzelreste zu beobachten. Hier wie in der Vergleichsprobe der Tieflockerungsparzelle mit Volldüngung ist das Bodenschliffbild übersät mit kohlschwarzen, scharfkantigen, splitterförmigen Teilchen von i. M. 100-200 μ Größe. Die Anreicherung dürfte auf den Staub der südwestlich vorbeiführenden

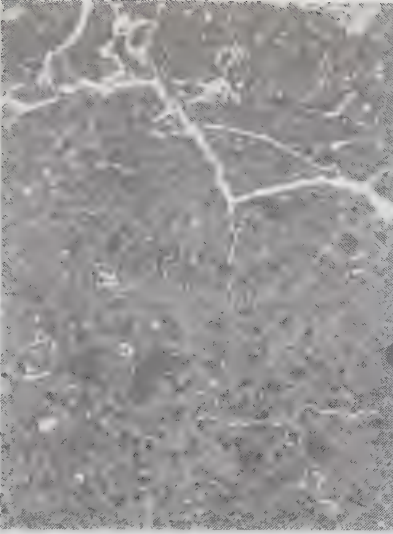


Abb. 35: Eschweiler-Dürwiß,
Nullparzelle, 28-36 cm
(M 1, 4:1)

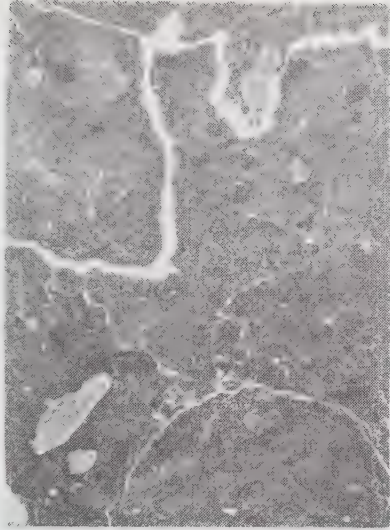


Abb. 36: Eschweiler-Dürwiß,
Nullparzelle, 45-53 cm
(M 1, 4:1)

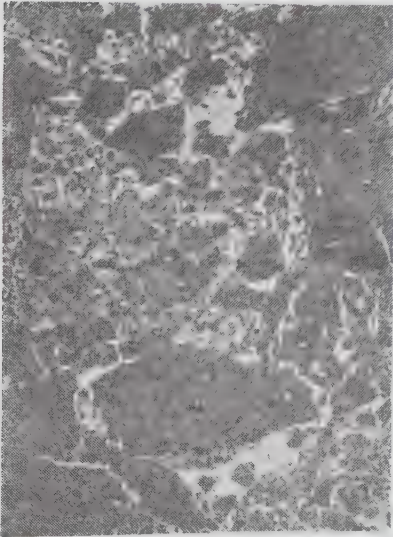


Abb. 37: Eschweiler-Dürwiß
Tieflockerungsparzelle mit
Kalkung, 28-36 cm (M 1, 4:1)



Abb. 38: Eschweiler-Dürwiß
Tieflockerungsparzelle mit
Kalkung, 45-53 cm (M 1, 4:1)

Bahn des Braun-Kohlenbergwerks zurückzuführen sein. Dafür spricht auch das Fehlen dieser opaken Teilchen in Bodenkörpern, die in sich abgeschlossen (fast gefügefremd) dunkelbraun gefärbt, mit mehreren goldgelben Kolloidansammlungen im Innern durch die Kippe zugeführte Lößlehmaggregate darstellen (Bildmitte rechts).

Bodentiefe: 45-53 cm (Abb. 38)

Die technisch noch nicht optimal durchgeführte Kalkverteilung bei der Tieflockerung zeigt eindrucksvoll die zementierte weißgraue Kalkanreicherung in der Bildmitte. Der größere rundovale Hohlraum zieht sich schräg durch die ganze faustgroße Bodenprobe und dürfte ein Tiergang sein. Reste von zusammengerutschten Tierhohlräumen (Bild oben, unten links und rechts) sind häufig, teils sind die kugelrunden Regenwurmaggregate noch zu erkennen. Durch Eisenausfällungen gefestigte rotbraune kleine Aggregate setzen sich vom gelblichen umgebenden Boden ab.

Vertikale kurze Streifen, abwechselnd angereichert mit Kolloidmaterial und Feinsand (Bildmitte), deuten auf Wasserperkolations- und Bodenbewegung hin. Die dabei erfolgende Kornsortierung geht bis zu flächenhaft im Bild erscheinende grauweiße Anreicherung von Schluff-Feinsand-Körnern.

Wurzelporen mit Wurzelresten sind öfter zu beobachten. Ebenso kleine schwarze Eisenmangankonkretionen mit gelappten Umgrenzungen. Der Boden bietet im ganzen das Bild eines labilen stark beweglichen Gefüges.

Tieflockerungsparzelle mit Volldüngung

Bodentiefe: 28-36 cm (Abb. 39)

Das Gefügebild entspricht dem der Vergleichsprobe aus der Tieflockerungsparzelle mit Kalkung. Nur zellige, organische Substanz und größere Quarzkörner findet man öfters vor.

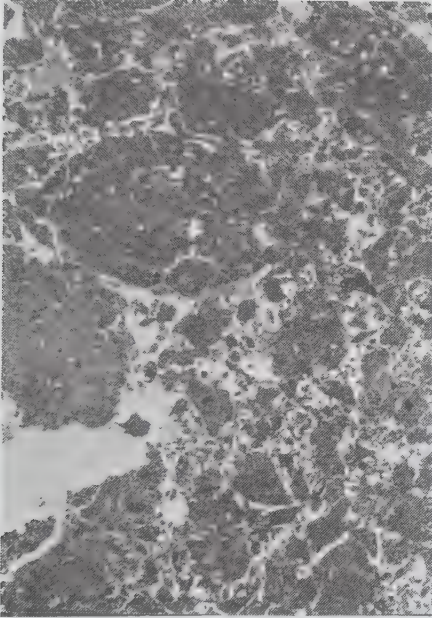
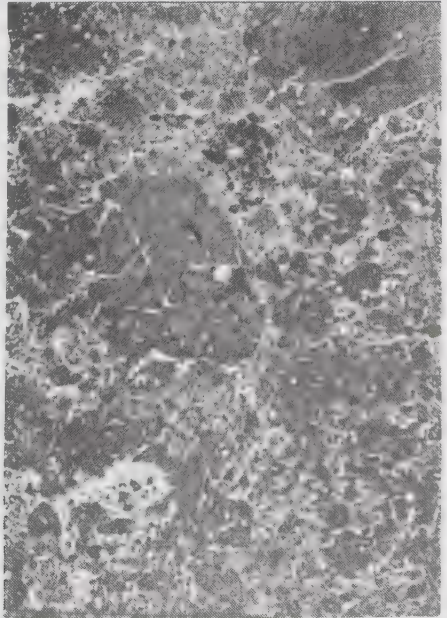


Abb. 39: Eschweiler-Dürwiß
Tieflockerungsparzelle
mit Volldüngung,
28-36 cm
(M 1,4:1)

Abb. 40: Eschweiler-Dürwiß
Tieflockerungsparzelle mit
Volldüngung
45-53 cm
(M 1,4:1)



Bodentiefe: 45-53 cm (Abb. 40)

Entsprechend den grauweißen Kalkanreicherungen in der gekalkten Parzelle liegt hier eine Anreicherung der zugeführten Düngerkörner vor (Bildmitte oben). Auffallend ist die sehr starke Anreicherung mit Collembolen - Aggregaten, die zusammen mit kugelrunden Regenwurmaggregaten und relativ festgefügtten allochthonen Lößlehmaggregaten durch eine lose Lagerung ein hohlraumreiches Bodengefüge ergeben. In den Lößlehmaggregaten umgeben dunkelbraune Säume von Eisenausfällungen die früheren Wurzelporen, diese stabilisierend.

Ertragsmessungen in Eschweiler-Dürwiß

Für die Beurteilung des Erfolges einer Meliorationsmaßnahme ist eine Ermittlung der Ernteerträge grundsätzlich wichtig, denn eine Verbesserung oder Verschlechterung des Luft-Wasserhaushaltes durch einen Eingriff in das Bodengefüge wird vor allem durch die Pflanze angezeigt.

In der vorliegenden Arbeit wurden 1967 Ertragsmessungen für das Versuchsfeld Eschweiler-Dürwiß durchgeführt (Tab. 3), und zwar an Zuckerrüben. Hier wurden, wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht, der Ertrag in dz/ha, das Blattgewicht in dz/ha und der Zuckergehalt ermittelt.

Der Zuckergehalt wurde mit Hilfe des Refraktometers festgestellt. Pro Rübe wurden 10 Proben genommen und der Mittelwert errechnet, wobei 10 % wegen des Zellulosegehaltes im Saft abgezogen werden mußten.

Neben diesen Ergebnissen gibt auch die Form der Rübe eine Auskunft über die Bodenbeschaffenheit. Jede Störung des Bodengefüges veranlaßt eine Wurzelverzweigung ("Beinigkeits") Abb. 41, 44. Für die Ernte fallen die Wurzelteile mit weniger als 1 cm Durchmesser aus.



Abb. 41: oben:
ohne Beinigkeit
unten: mit Beinigkeit

Die Abbildungen zeigen einen Vergleich der Rüben der meliorierten und der Nullparzelle.



Abb. 42: links im
Bild sind Rüben
ohne Beinigkeit
(TL)

rechts im Bild
sind Rüben mit
Beinigkeit (Null-
parzelle)

Tabelle 3: Ertragsergebnis Eschweiler-Dürwiß 1967

Parzelle	Ertrag dz/ha Zuckerrüben	%	Blattgew. dz/ha	%	Zuckergeh. in %	%
TL. + Volldüng.	654,7	151	252,0	173	20,9	107
TL. + Thomasph.	624,6	144	227,0	156	21,9	112
TL. + Kalk	591,7	136	249,3	171	20,7	107
Tieflockerung	561,6	129	208,2	143	20,4	105
TL. + Maulwurf- dränung	564,3	130	232,8	160	20,6	106
Dränung	526,0	121	197,2	135	20,4	105
Nullparz. II	539,7	124	197,2	135	21,3	109
Nullparz. I	432,8 = 100		145,2 = 100		19,4 = 100	

Einen entsprechenden Unterschied im Getreidebestand (Winterweizen) zeigt der Vergleich der Parzellen im Mai 1968 (Abb. 43, 44).



Abb. 43: Tieflockerungs-
parzelle mit Volldüngung
in Eschweiler-Dürwiß,
Mai 1968

Abb. 44: Nullparzelle in
Eschweiler-Dürwiß,
Mai 1968



3.32 Steinfurt

Korngrößenzusammensetzung

Der relativ hohe Tongehalt ist charakteristisch für diesen unter Stau-
nässe leidenden Standort. Auch der Schluffgehalt ist bei einem Maxi-
mum im S_w -Horizont von 60 % relativ hoch. Auf den Mittelschluff
entfallen ungefähr 20 %, auf den Grobschluff ungefähr 30 %. Die
Sandfraktionen bestehen zum größten Teil aus Konkretionen. Ihr Ge-
samtanteil beträgt weniger als 10 %. Abweichend von P5 ist das Pro-
fil P2- unter Ackernutzung. Hier liegt der S_w -Horizont in geringerer
Tiefe und ist weniger stark ausgeprägt. Das Maximum des Tongehal-
tes liegt in 30-50 cm Tiefe und fällt nach unten etwas ab. Der
Schluffgehalt ist etwas höher, der Sandanteil niedriger als im Profil
P5 (Tab. 4).

Tabelle 4: Korngrößenverteilung Steinfurt (nach Meimberg (63)).

Profil P5 : Null

Tiefe cm	T	fU	mU	gU	fS	gS	U gesamt
10-20	39,0%	15,2%	17,5%	22,6%	4,5%	1,2%	55,3%
20-30	39,2%	15,4%	18,6%	19,6%	2,5%	4,7%	53,6%
30-40	28,8%	8,8%	17,7%	34,8%	5,5%	4,4%	61,3%
40-50	39,6%	6,1%	17,3%	27,8%	5,5%	3,7%	51,2%
50-60	37,8%	7,0%	19,6%	28,9%	4,0%	2,7%	55,5%
60-70	36,1%	9,0%	18,2%	29,7%	4,5%	2,5%	56,9%

Profil P2 : vor der Melioration entnommen

10-20	26,0%	13,7%	20,9%	28,2%	4,2%	7,0%	62,8%
20-30	30,6%	11,6%	23,0%	26,7%	4,1%	4,0%	61,3%
30-40	40,4%	12,4%	14,2%	29,6%	2,2%	1,2%	56,2%
40-50	40,9%	10,4%	18,5%	27,0%	2,0%	1,2%	55,9%
50-60	37,4%	10,8%	17,7%	30,1%	2,2%	1,8%	58,6%
60-70	35,2%	9,9%	18,5%	31,7%	2,9%	1,8%	60,1%
70-80	34,8%	11,6%	18,9%	31,9%	1,8%	1,0%	62,4%

Reaktionsverhältnisse

Die pH-Werte des Feldes in Steinfurt bewegen sich im stark sauren Bereich zwischen pH 4,0-4,8. Die Messungen (Tab. 5) zeigen keine Unterschiede zu den pH-Werten, die Meimberg 1964 feststellte.

Tabelle 5: pH-Werte des Feldes Steinfurt (1968)

Tiefe cm	Tieflockerung pH-Wert	Nullparzelle pH-Wert
0-20	4,8	4,7
20-40	4,6	4,3
40-60	4,2	4,2
60-80	4,2	4,0

Gesamtporenvolumen und Porengrößenverteilung

Die Luftvolumina sind in den meliorierten Parzellen gegenüber der Nullparzelle vergrößert und bleiben auch über die Beobachtungstermine hinweg vergrößert (Abb. 45). Sie scheinen beim Tieflockerungsprofil am Drän durch dessen zusätzliche Entwässerung noch etwas höher zu liegen als im Tieflockerungsprofil zwischen zwei Dränen (Abb. 46). Die Untersuchungsstelle zwischen zwei Lockerungen gleicht der Nullparzelle, zeigt aber 1968 eine Entwicklung zur Auflockerung.

Die Anteile des pflanzenverfügbaren Wassers sind in den tiefgelockerten Profilen deutlich erhöht, der Anteil an Totwasser ist merklich erniedrigt.

Messungen der Wasserdurchlässigkeit

In Steinfurt hat das gesamte Profil der Nullparzelle eine sehr geringe Durchlässigkeit. Die Lockerungszone liegt im Bereich der hohen bis mittleren Durchlässigkeit, so daß eine Verbesserung gegenüber dem Nullprofil deutlich hervortritt. Keine Verbesserung der Durchlässigkeit dagegen zeigt die Meßstelle zwischen zwei Lockerungen. Hier ist die Durchlässigkeit sehr gering und somit

Steinfurt, April 1967

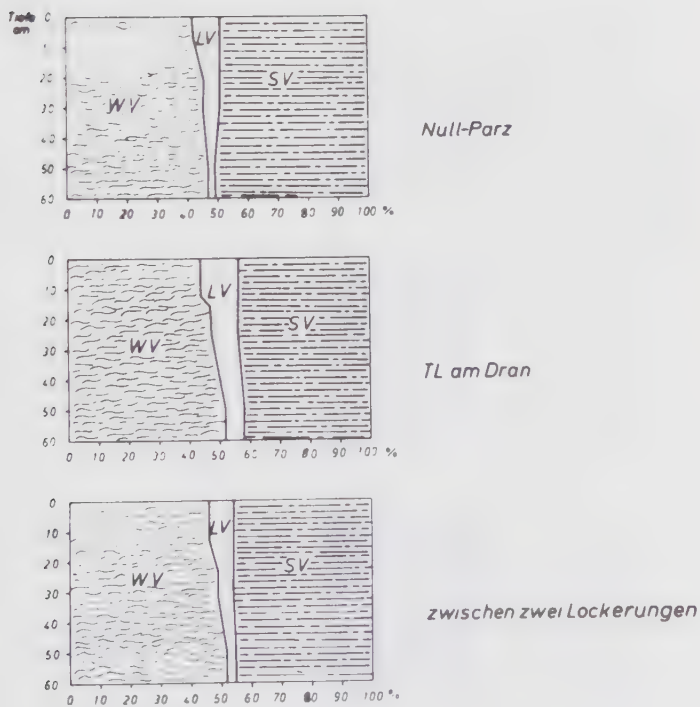


Abb. 45: Luft-Wasser-Verhältnisse des Feldes Steinfurt,
April 1967

Steinfurt, April 1968

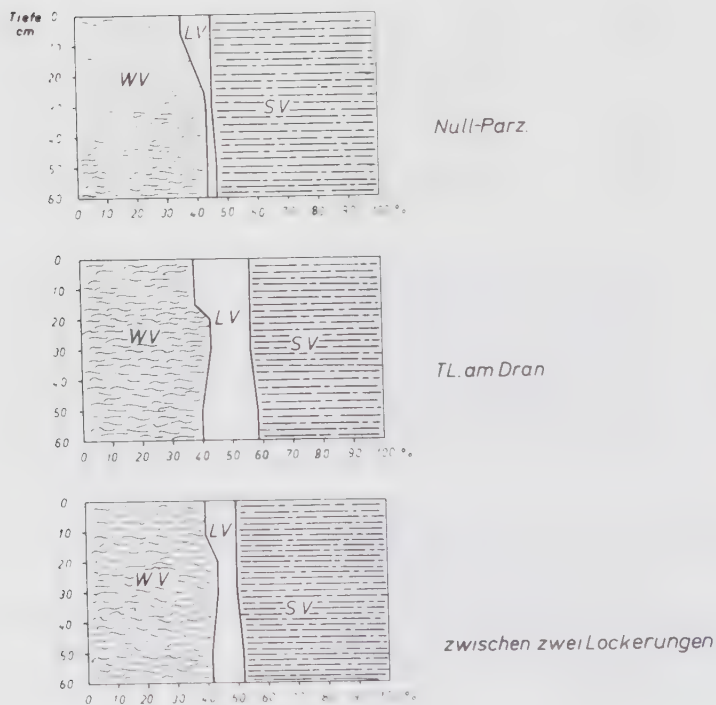


Abb. 46: Luft-Wasser-Verhältnisse des Feldes Steinfurt,
April 1968

Steinfurt, April 1967

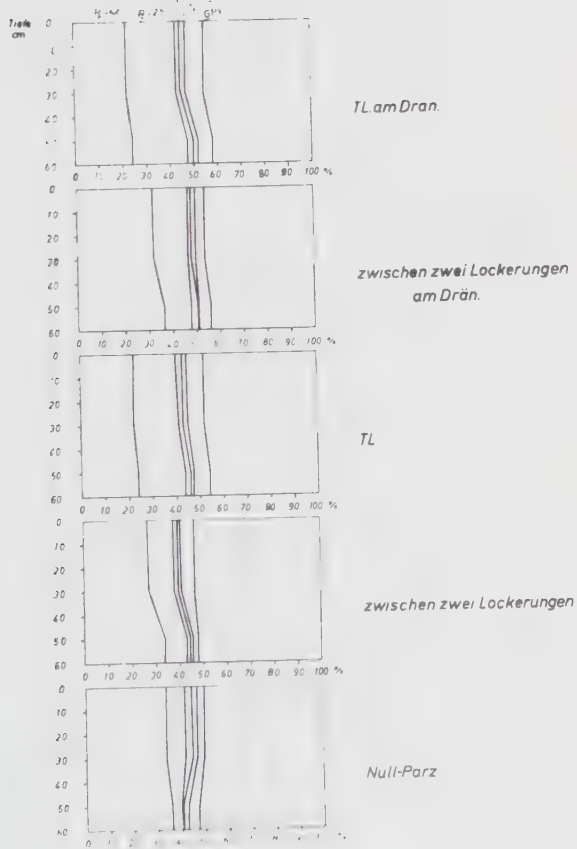


Abb. 47: Gesamtporenvolumen und Porenraumverteilung in Vol. % des Feldes Steinfurt, April 1967

Steinfurt, Dezember 1967

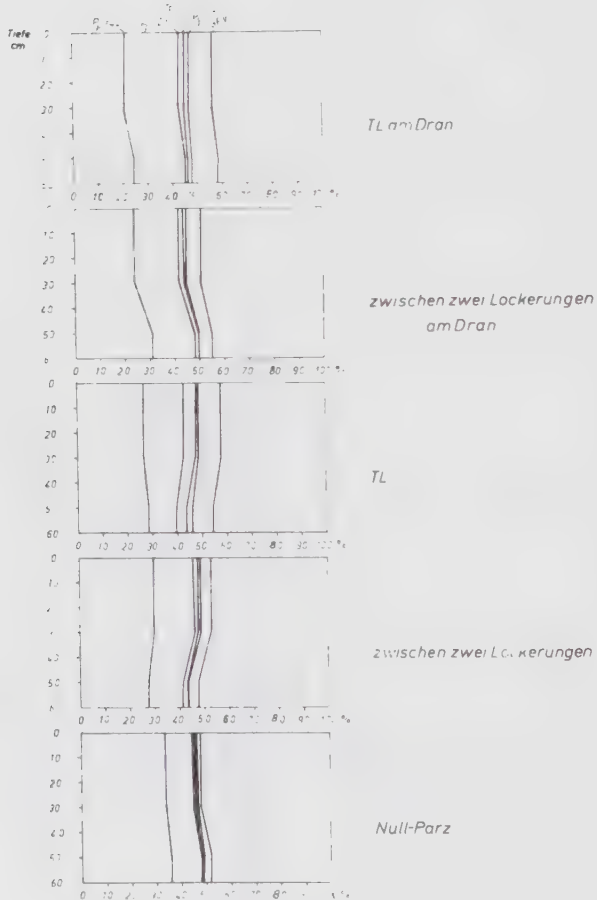


Abb. 48: Gesamtporenvolumen und Porenraumverteilung in Vol. %
des Feldes Steinfurt, Dezember 1967

Steinfurt, April 1968

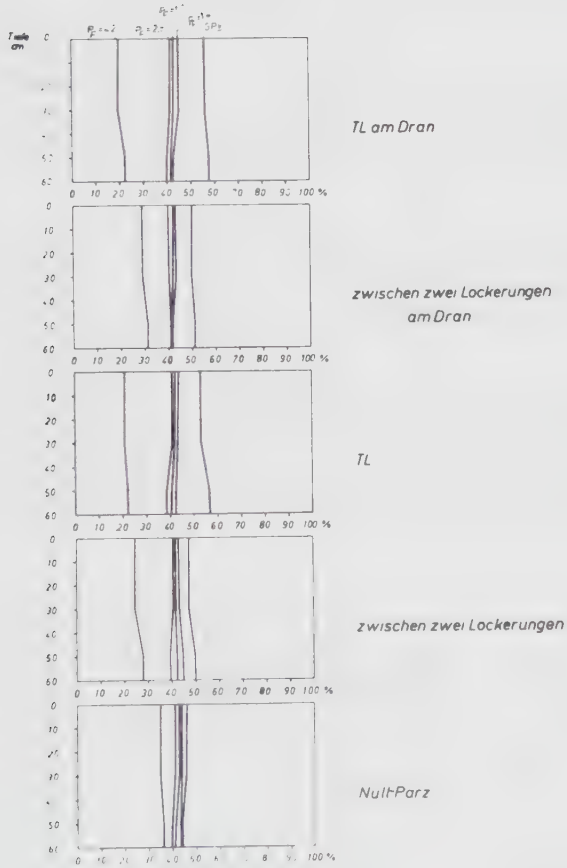


Abb. 49: Gesamtporenvolumen und Porenraumverteilung in Vol. %
des Feldes Steinfurt, April 1968

dem Nullprofil gleich. Die Tieflockerung am Drän ergibt Durchlässigkeitswerte von mittlerer bis hoher Durchlässigkeit. Im Gegensatz dazu zeigt die Meßstelle zwischen zwei Lockerungen am Drän überwiegend eine sehr geringe Durchlässigkeit.

Aus diesen Werten zeigt sich, daß die Tieflockerung gegenüber dem Nullprofil eine Durchlässigkeitsverbesserung von sehr geringer zu mittlerer bis hoher Durchlässigkeit ergeben hat.

Ein Vergleich der Ergebnisse von 1967 mit denen von 1968 (Abb. 50 und Tab. 30) zeigt keine Verminderung der Wasserdurchlässigkeit, die auf eine Wiederverdichtung des Bodens hinweisen könnte.

Messungen der Luftdurchlässigkeit

Die Ergebnisse weisen keine größere Differenz zwischen den Parzellen auf. Jedoch ist eine geringfügige Steigerung der Luftdurchlässigkeit der Tieflockerungsparzelle gegenüber der Nullparzelle zu verzeichnen (Abb. 51 und Tab. 6).

Tabelle 6: Steinfurt Luftdurchlässigkeit nach (RID)

Tiefe cm	April 1967		April 1968	
	Tieflocker.	Nullparz.	Tieflocker.	Nullparz
0-20	0,54	0,57	0,52	0,55
20-30	0,56	0,59	0,54	0,58
30-40	0,58	0,59	0,57	0,58
40-50	0,59	0,60	0,58	0,60
50-60	0,60	0,60	0,59	0,59
60-70	0,60	0,60	0,60	0,60

Steinfurt

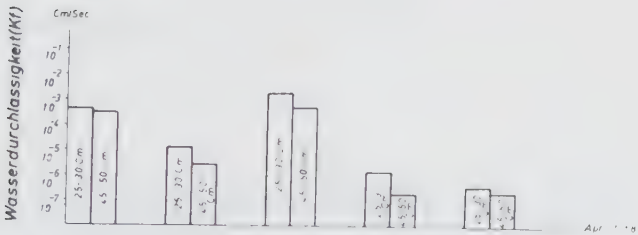
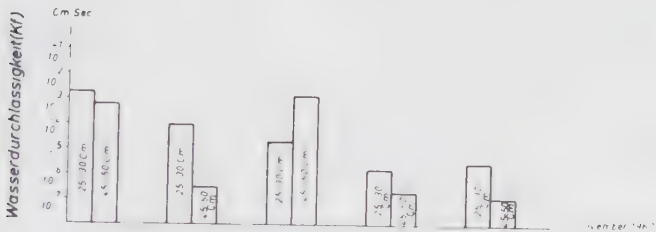
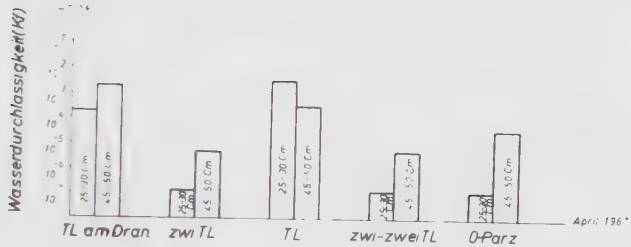


Abb. 50: Wasserdurchlässigkeit (cm/s) des Feldes Steinfurt

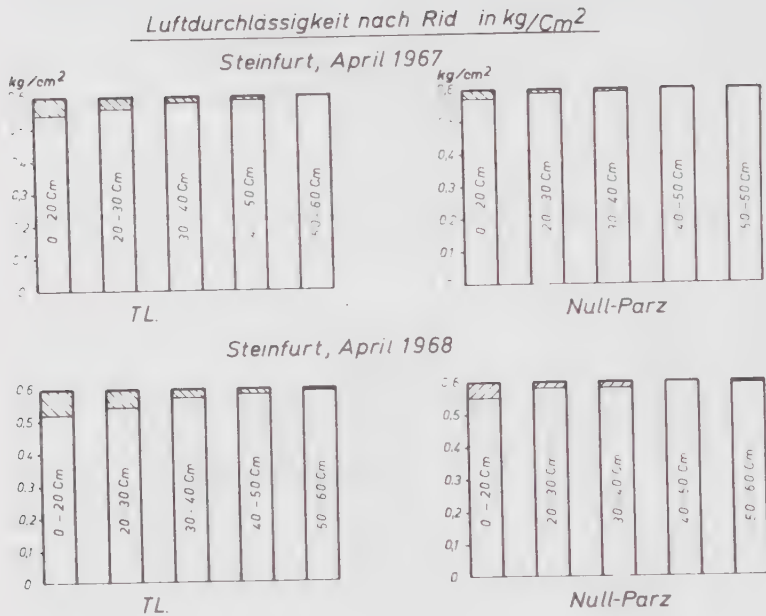


Abb. 51: Luftdurchlässigkeitsbestimmung des Feldes Steinfurt, April 1967 und 1968

Nachweis der Lockerung durch Widerstandsmessungen

In Steinfurt ergaben die Messungen von 1967 in dem meliorierten Profil einen höheren Wassergehalt und geringeren Bodenwiderstand als 1968. Im Jahre 1968 zeigten die Meßwerte eine Verschlechterung, was u.U. auch auf eine Wiederverdichtung, vor allem in der Zone zwischen zwei Lockerungen, schließen lassen kann. Während im April 1967 die Wiedergabe der Lockerungszone auf der Abb. 52, 53 und Tab. 31, 32 aufgrund der Sondemessungen eindeutig ist, zeigen die Messungen im November 1967 und erst recht im April 1968 nicht mehr diese deutlichen Unterschiede in den verschiedenen Bodentiefen.

Trotzdem ist in den Wassergehaltskurven von Abb. 54 die ausgleichende Wirkung der Lockerung auf den Wasserhaushalt des Bodens gut zu verfolgen.

Feld Steinfurt, April 1967

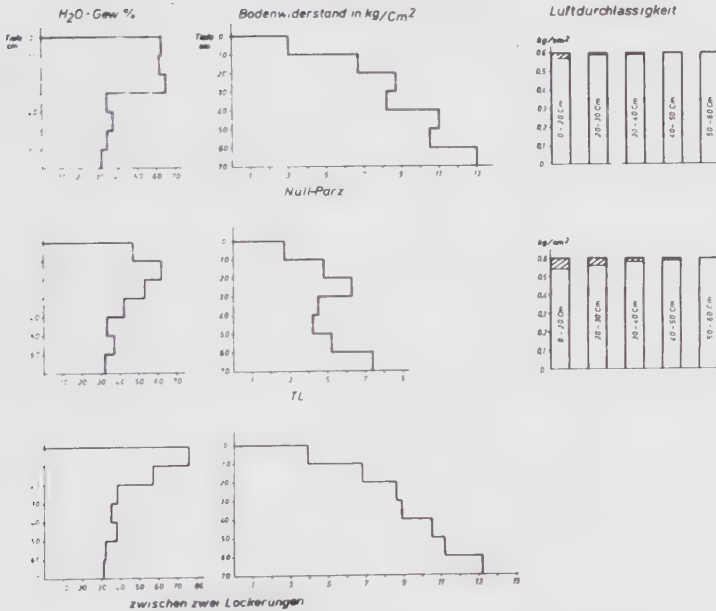


Abb. 52: Messungen des Bodenwiderstandes, der Bodenfeuchte und der Luftdurchlässigkeit vom Felde Steinfurt, April 1967

Feld Steinfurt, April 1968

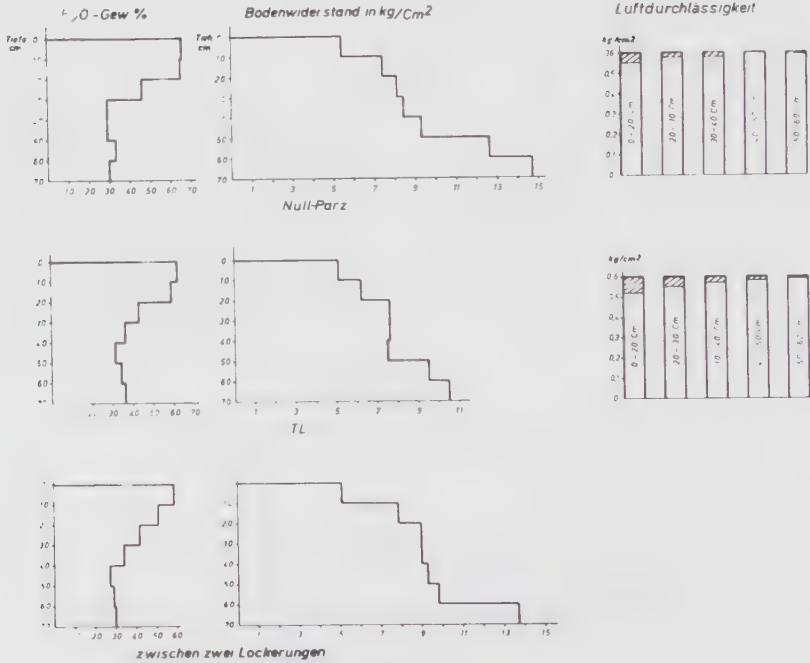


Abb. 52a: Messungen des Bodenwiderstandes, der Bodenfeuchte und der Luftdurchlässigkeit vom Felde Steinfurt, April 1968

Feld Steinfurt, November 1967

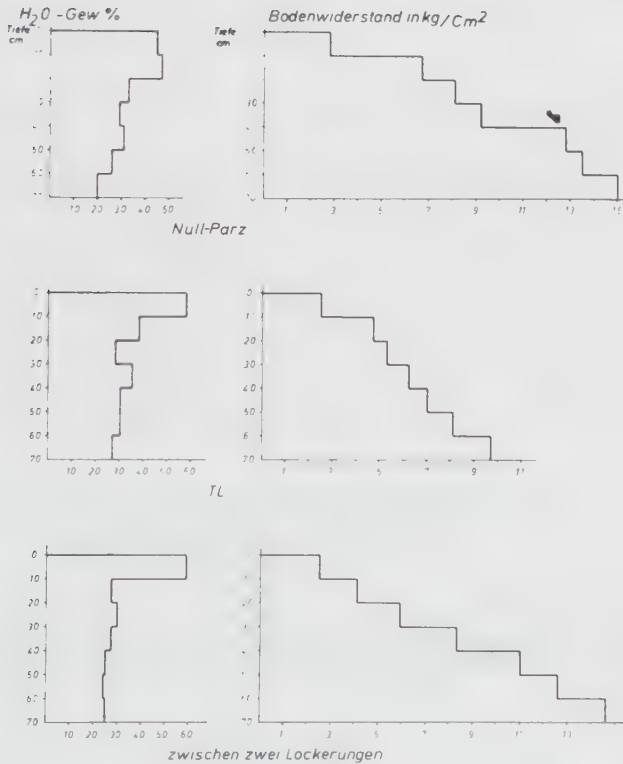


Abb. 53: Messungen des Bodenwiderstandes und der Bodenfeuchte vom Felde Steinfurt, November 1967

Steinfurt

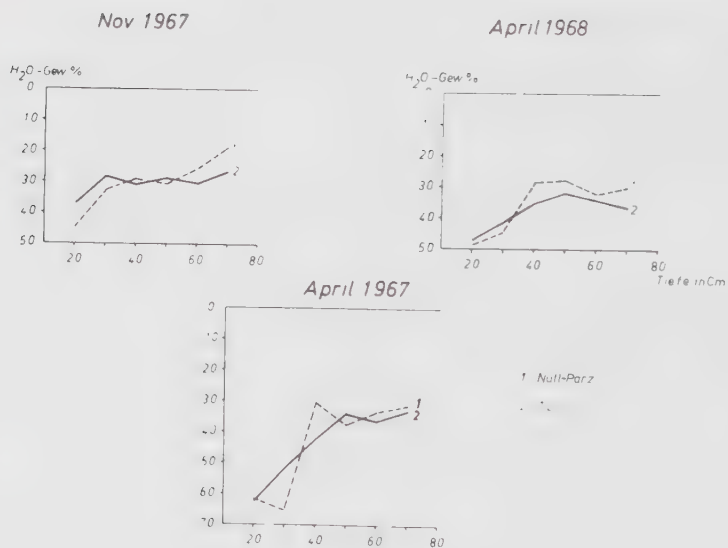


Abb. 54: Bodenfeuchtebestimmung des Feldes Steinfurt

3.33 Grieth-Griethausen

Korngrößenzusammensetzung

In dem unveränderten Profil weist der Tongehalt bis 50 cm Tiefe 11-16 % auf, sinkt in der Tiefe 50-60 cm auf ca. 8 % ab und nimmt mit wachsender Tiefe bis über 18 % zu. Der Gesamtschluffgehalt dagegen beträgt bis zu einer Tiefe von 70 cm über 80 % und sinkt in den tieferen Lagen unter 80 %. Das Maximum liegt mit ca. 86 % in 50-60 cm Tiefe (Tab. 7).

Das gelockerte Profil zeigt keine wesentliche Unterscheidung gegenüber dem gestörten. Der Tongehalt liegt hier zwischen 11 und 14 % bis zu einer Tiefe von 50 cm, sinkt ebenfalls auf 8 % bei 50-60 cm ab und steigt bis ca. 19 % in zunehmender Tiefe an. Der Gesamtschluffgehalt beträgt bis zu einer Tiefe von 60 cm über 80 % und sinkt in der weiteren Tiefe auf unter 80 %. Das Maximum liegt bei 50-60 cm Tiefe mit 87 %. In dem gestörten Profil sind die Grobschluffanteile bis zu einer Tiefe von 40 cm wesentlich höher als in dem unveränderten Profil (Tab. 8).

Tabelle 7: Grieth-Griethausen unveränderte Parzelle

Korngrößenverteilung in Gew. %

Tiefe cm	T	fU	mU	gU	fS	gS	U gesamt
0-10	13,6	11,8	20,8	51,2	1,9	0,70	83,8
10-20	15,8	13,1	22,1	47,0	1,5	0,5	82,2
20-30	16,4	13,4	22,9	45,2	1,6	0,5	81,5
30-40	14,7	8,9	17,0	56,7	2,4	0,3	82,6
40-50	11,1	5,1	9,3	69,3	3,8	1,4	83,7
50-60	7,9	4,7	6,9	74,4	4,9	1,2	86,0
60-70	13,1	4,6	12,0	65,4	2,1	2,8	82,0
70-80	18,9	12,9	14,3	51,5	1,5	0,9	78,7
80-90	19,5	8,4	19,3	50,5	1,7	0,6	78,2
90-100	18,5	8,1	19,2	51,5	2,1	0,6	78,8

Tabelle 8: Grieth-Griethausen TL. Parzelle

Korngrößenverteilung in Gew. %							
Tiefe cm	T	fU	mU	gU	fS	gS	U gesamt
0-10	14,6	7,3	12,1	61,3	2,8	1,9	80,7
10-20	11,9	6,3	15,4	61,7	3,7	1,0	83,4
20-30	12,6	7,3	13,3	62,3	3,5	1,0	82,9
30-40	12,8	6,3	15,3	61,5	3,5	0,6	83,1
40-50	11,0	5,6	9,6	68,8	4,0	1,0	84,0
50-60	8,0	5,6	7,9	73,6	3,4	1,5	87,1
60-70	18,1	10,0	20,1	49,1	1,8	0,9	79,2
70-80	18,2	9,0	20,9	49,3	1,7	0,9	79,2
80-90	18,8	9,6	22,0	47,3	1,8	0,5	78,9
90-100	17,9	9,3	16,5	53,7	2,0	0,6	79,5

Reaktionsverhältnisse

Die pH-Werte auf den Versuchsfeldern in Grieth-Griethausen liegen nach eigenen Messungen (Tab. 9) zwischen pH 7,2-7,8 im schwach basischen Bereich. Sie decken sich somit mit den Werten von MOTT (67).

Tabelle 9: pH-Wert des Feldes Grieth-Griethausen

Tiefe cm	Tieflocker. pH-Wert	Nullparzelle pH-Wert	unveränd. Fläche pH-Wert
0-20	7,7	7,5	7,7
20-40	7,8	7,7	7,2
40-60	7,8	7,6	7,7
60-80	7,7	7,7	7,7

Gesamtporenvolumen und Porengrößenverteilung

Das unveränderte Profil (Profil I) hat ein relativ gutes Gesamtporenvolumen (um 50 Vol.%), während dies beim aufgetragenen Boden (Nullparzellen) nicht der Fall ist. Durch die mechanische Beanspruchung wurde der Boden verdichtet und somit das Gesamtporenvolu-

men verringert (Abb. 55, 56, 57 und Tab. 34, 35, 36). Erst durch die Tieflockerung wurde das Gesamtporenvolumen wieder erhöht. Außerdem sind der Anteil des pflanzenverfügbaren Wassers und die Anzahl der Luftporen durch die Lockerung wesentlich vermehrt (Abb. 58).

Die Tieflockerungsparzelle IV ist in den Hohlraumverhältnissen auffallend besser als die Tieflockerungsparzelle II. Grund hierfür ist sehr wahrscheinlich der engere Abstand der Lockerungsfurchen bei der Parzelle IV.

Messungen der Wasserdurchlässigkeit

Die k_f -Werte ergeben eine hohe bis sehr hohe Durchlässigkeit für die meliorierten Parzellen. Dagegen zeigen die Null-Parzellen, besonders in der Tiefe zwischen 30-35 und 45-50 cm, geringe bis sehr geringe Durchlässigkeit (Abb. 59 und Tab. 37). Hier zeigt sich die deutliche Verbesserung des Bodens durch Tieflockerung. Da die Versuchsfläche Grieth-Griethausen aufgeschütteter Boden ist, wurde zum weiteren Vergleich eine Parzelle herangezogen, die ungestört ist. Die Messungen ergaben hier Durchlässigkeitswerte von mittel bis hoch. Somit liegt dieser Boden in seiner Wasserdurchlässigkeit über den Nullparzellenwerten, was wohl auf das natürliche, gewachsene Hohlraumgefüge zurückzuführen ist. Weiterhin ist abzuwarten, ob die hohen Durchlässigkeitswerte beim gelockerten Boden aufgrund des hohen Schluffgehaltes erhalten bleiben.

Messungen der Luftdurchlässigkeit

Wie auf den anderen Versuchsfeldern ist auch hier kein deutlicher Unterschied zwischen den meliorierten Parzellen und der Nullparzelle festzustellen. Dies mag seinen Grund darin haben, daß in der Jahreszeit, in der die Messungen stattfanden, die Poren in dem gelockerten Feld mit Wasser gesättigt sind. Dennoch ist auch hier in der gelockerten Parzelle eine geringfügige Steigerung der Luftdurchlässigkeit zu bemerken (Abb. 60 und Tab. 10).

Grieth-Griethausen

Marz 1967

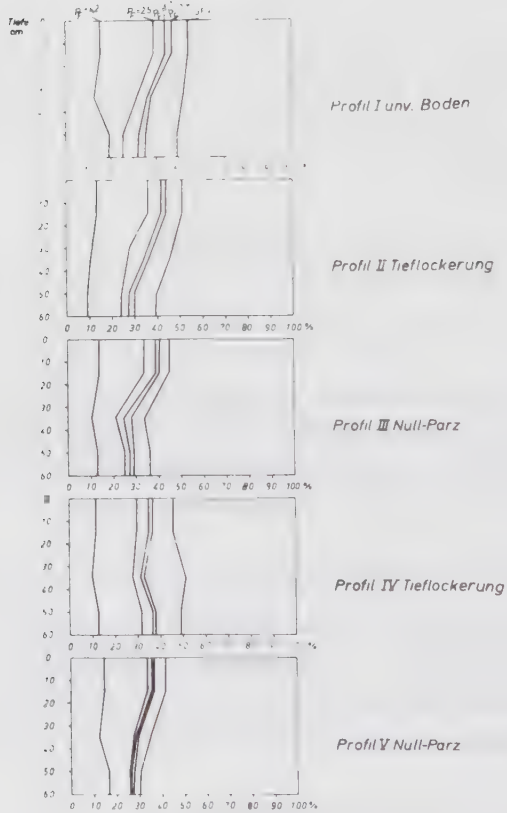


Abb. 55: Gesamtporenvolumen und Porenraumverteilung in Vol. $\%$ des Feldes Grieth-Griethausen

Grieth-Griethausen

Dezember 1967

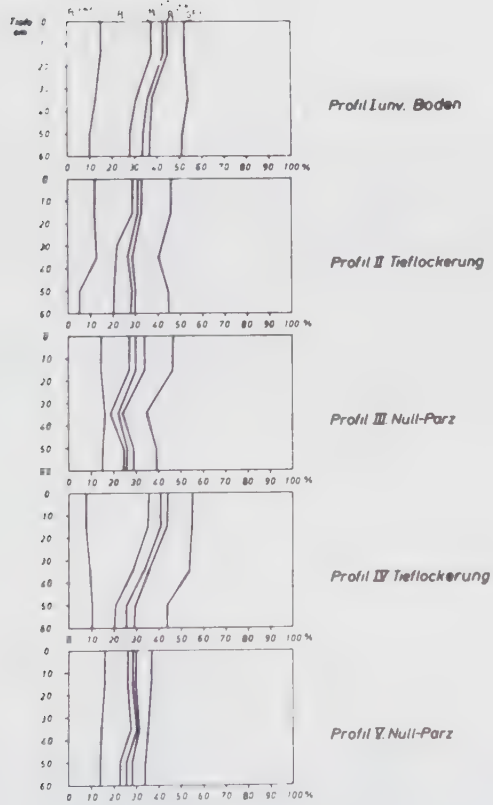


Abb. 56: Gesamtporenvolumen und Porenraumverteilung in Vol. %
des Feldes Grieth-Griethausen

Grieth-Griethausen

Juni 1968

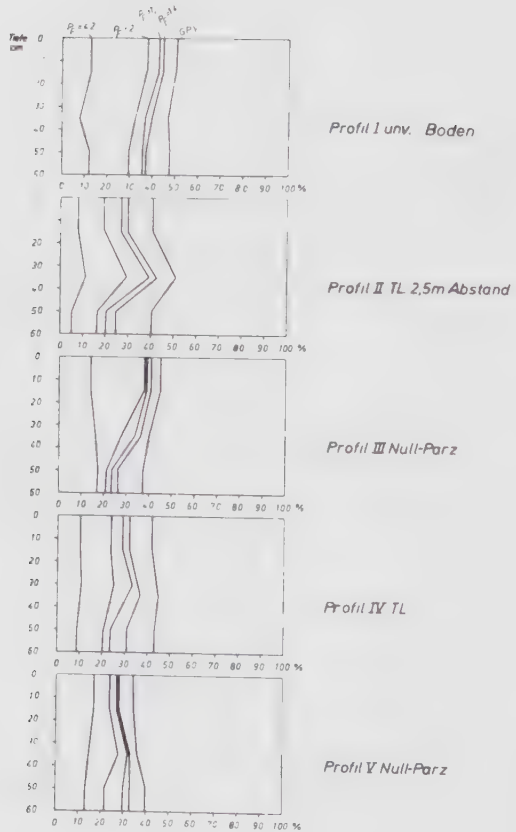


Abb. 57: Gesamtporenvolumen und Porenraumverteilung in Vol. %
des Feldes Grieth-Griethausen

Marz 1967

Grieth-Griethausen

Juni 1968

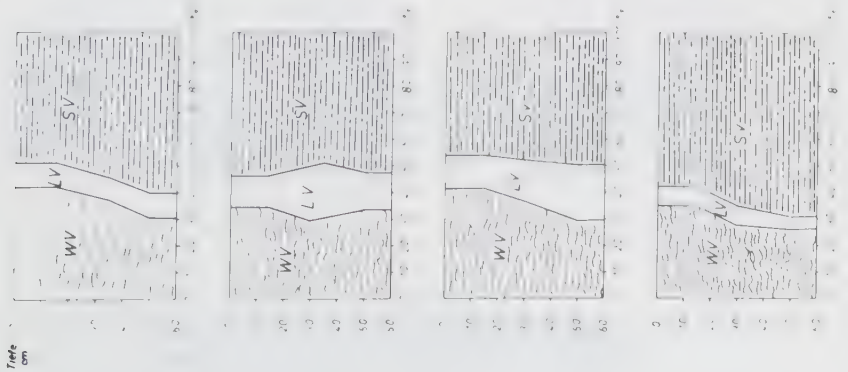


Abb. 58: Luft-Wasser-Verhältnisse des Feldes Grieth-Griethausen, März 1967 und Juni 1968

Grieth-Griethausen

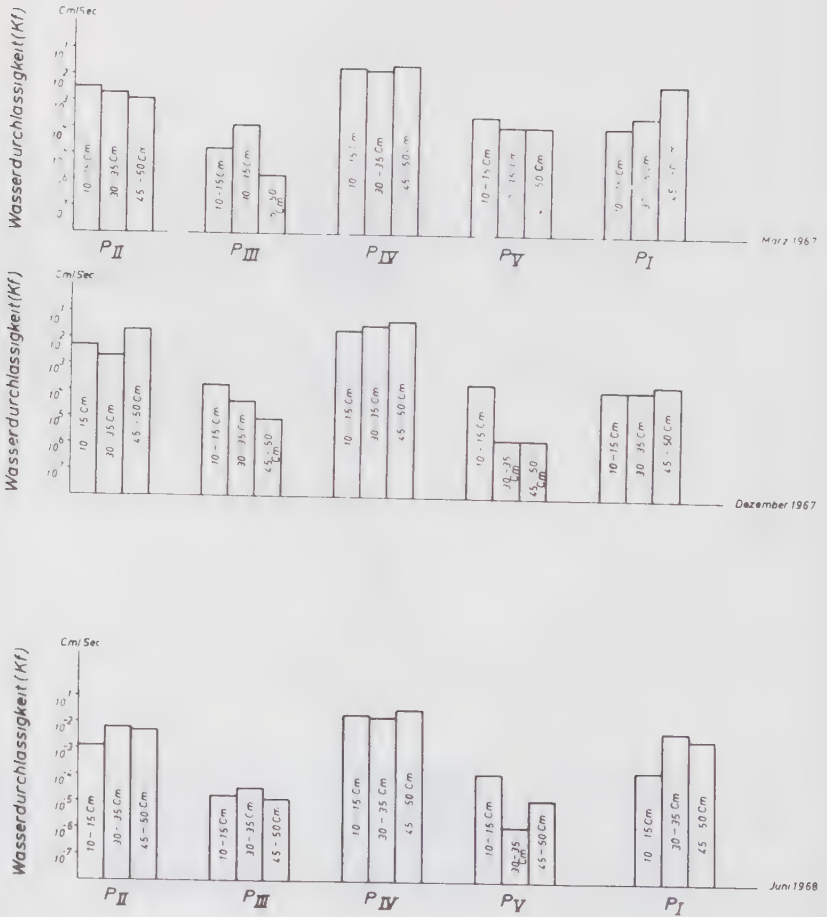


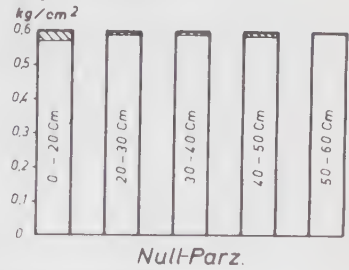
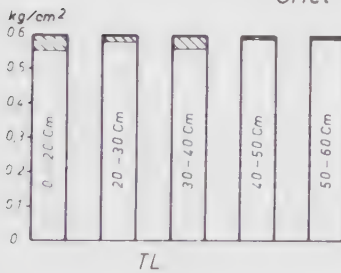
Abb. 59: Wasserdurchlässigkeit (cm/s) des Feldes
Grieth-Griethausen

Tabelle 10: Grieth-Griethausen, Luftdurchlässigkeit nach RID

Tiefe cm	März 1967		Juni 1968	
	Tieflocker.	Nullparz.	Tieflocker.	Nullparz.
0-20	0,56	0,57	0,51	0,56
20-30	0,58	0,59	0,53	0,58
30-40	0,56	0,59	0,55	0,59
40-50	0,59	0,59	0,58	0,59
50-60	0,59	0,60	0,59	0,59
60-70	0,60	0,60	-	-

Luftdurchlässigkeit nach Rid in kg/cm²

Griet - Griethausen, März 1967



Grieth - Griethausen, Juni 1968

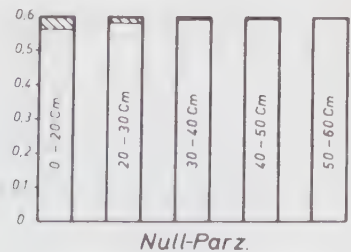
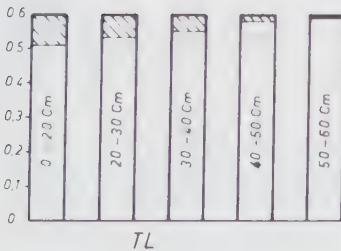


Abb. 60: Luftdurchlässigkeitsbestimmung des Feldes
Grieth-Griethausen

Grieth-Griethausen, Juni 1968

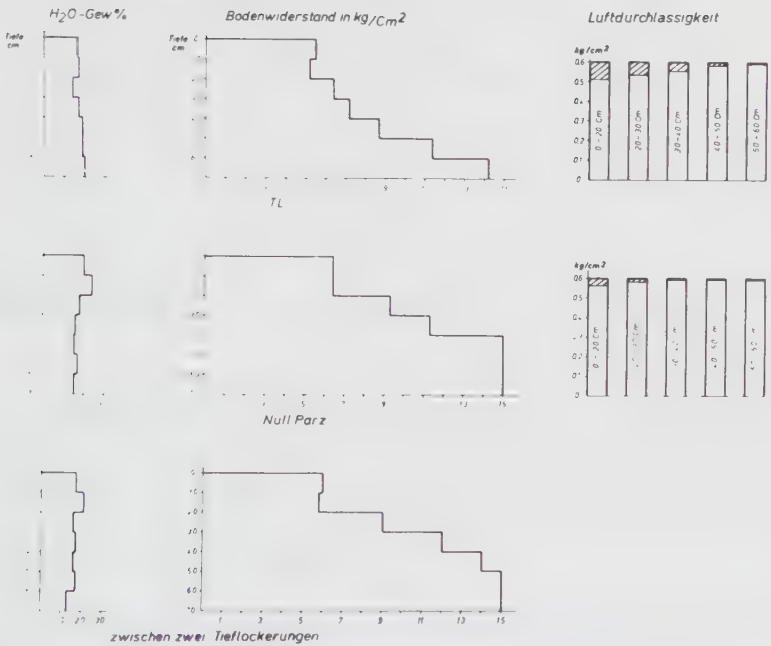


Abb. 62: Messungen des Bodenwiderstandes, der Bodenfeuchte und der Luftdurchlässigkeit des Feldes Grieth-Griethausen

Grieth-Griethausen

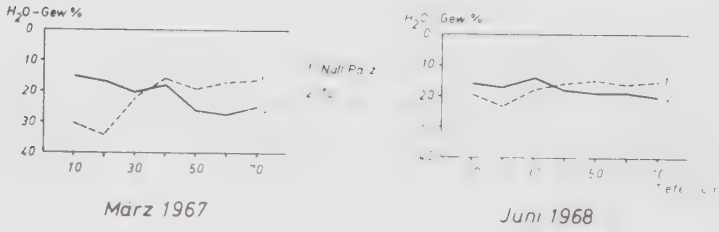


Abb. 63: Bodenfeuchtebestimmung des Feldes Grieth-Griethausen

4. Diskussion.

In der Folge sollen die im einzelnen besprochenen und mitgeteilten Ergebnisse zusammengefaßt und für jeden Standort diskutiert werden. Hierbei soll versucht werden, verallgemeinernde Rückschlüsse auf den Erfolg der durchgeführten Meliorationsmaßnahmen zu ziehen.

Bei dem Standort Eschweiler-Dürwiß handelt es sich um einen Neuboden aus Löß. Vor der Melioration war der Boden staunauß und stark verdichtet, und damit für die Ackernutzung nicht sehr geeignet. Das Kennzeichen für den schlechten Wasserhaushalt des Bodens im Zustand vor der Melioration ist der geringe Anteil grober Poren und ein sehr hoher Anteil feiner Poren. Hierin liegt die Begründung für eine geringe Versickerungsmöglichkeit des Wassers und gleichzeitig ergibt sich ein relativ niedriger Gehalt an pflanzennutzbarem Wasser.

Tab. 11 gibt die zusammengefaßten Ergebnisse der Porenverteilung aus den Jahren 1964 - 1968 wieder. Es handelt sich um die Nullparzellen als Kontrolle und die vier gelockerten Parzellen. Für eine derartige Gegenüberstellung sind vorteilhaft die Schichten aus 30 cm und 50 cm Tiefe, weil hier keine Bodenbeeinflussung durch Bearbeitungsmaßnahmen mehr erfolgt.

Vergleicht man global die Summe der selbstdränenden Poren bei den gelockerten Parzellen mit der Nullparzelle, so ist eine Zunahme von 2,7-3,8 % gegenüber der Nullparzelle infolge der Melioration zu erkennen. Gleichzeitig verbesserte sich das Gesamtporenvolumen um 5,7 %. Natürlich unterliegen diese Werte in den einzelnen Jahren gewissen Schwankungen. Bemerkenswert ist auch die Abnahme des Anteils an Totwasser um 2,9-3,2 %. Durch die Maßnahme erhöhte sich außerdem das pflanzenverfügbare Wasser um 2,4-2,3 %. Die Feldkapazität sank geringfügig um 0,4-0,8 %. Zurückzuführen ist dies auf die starke Zunahme der selbstdränenden Poren. Die Vergleichswerte sind von 30 und 50 cm Tiefe gerechnet.

Tabelle 11: Zusammengefaßte Ergebnisse der Porenverteilung der Null- und Tieflockerungspartzellen von Eschweiler-Dürwiß, 1964 - 1968

Tiefe cm	schnell drainierende Poren		Summe	langsam drainierende selbst Poren		Gesamtporen vol. Feld- Kapaz.	Pflanzen verfügb. Wasser	Tot- Wasser	GPV
	0-0,025 0-1,4	0,025-0,06 1,4 -1,77		0,06-0,3 1,77-2,54	0-0,3 0-2,54				
Nullparzelle	120 μ	120	-50 μ	50 μ	10 μ	10 μ	10-0,2 μ	0,2 μ	
	0,9	1,9	2,3	2,0	4,8	35,4	19,3	16,1	40,2
1964	30 cm	1,6	4,2	4,0	8,3	33,4	18,9	15,5	41,8
1965	50 cm	7,9	9,1	3,0	12,1	31,7	18,0	13,7	43,8
	30 cm	5,8	6,9	3,2	10,0	31,7	18,4	13,3	41,8
1966	50 cm	6,3	7,2	4,3	11,5	28,4	16,9	11,5	39,8
	30 cm	5,9	6,2	4,1	10,3	28,9	17,3	11,6	39,3
1967	50 cm	5,4	5,8	2,3	8,1	30,2	13,2	17,0	38,0
	30 cm	7,4	8,5	2,6	11,1	28,8	13,1	15,2	40,1
1968	50 cm	4,0	5,2	4,5	9,7	27,1	11,2	16,3	36,8
	30 cm	7,4	5,0	4,5	9,5	27,0	9,3	17,6	36,6
Tieflockerung	50 cm	ϕ		5,9	5,2	30,5	15,7	14,9	39,8
	30 cm	5,8	6,1	1,8	3,8	29,9	15,4	14,6	
1964	30 cm	2,2	8,0	3,4	11,4	31,6	17,8	13,8	43,0
	50 cm	6,5	8,6	4,0	12,6	31,1	17,3	13,8	43,7
1965	30 cm	10,6	11,8	3,2	15,0	30,6	18,2	12,4	45,6
	50 cm	13,3	15,2	3,7	18,9	29,4	17,2	12,2	48,3
1966	30 cm	6,7	8,7	4,0	12,7	30,9	19,5	11,4	43,6
	50 cm	10,9	12,8	4,3	17,1	29,7	18,3	11,2	46,5
1967	30 cm	7,8	9,9	5,0	14,9	29,6	18,4	11,2	46,5
	50 cm	15,3	18,8	8,3	27,1	28,0	18,2	9,8	55,1
1968	30 cm	11,9	13,7	6,0	19,7	27,8	16,8	10,9	47,5
	50 cm	11,3	13,7	8,0	21,7	27,5	17,5	10,0	49,2
30 cm	ϕ		10,4	4,3	14,7	30,1	18,1	12,0	45,5
	50 cm	13,8	13,8	5,6	19,4	29,1	17,7	11,4	
Diff.			4,5	2,7	9,5	-0,4	2,4	2,9	+5,7
			7,7	3,8	15,6	-0,8	2,3	3,2	

Diese Ergebnisse rechtfertigen den Schluß, daß 4 Jahre nach Durchführung der Melioration die Maßnahme noch voll wirksam ist. Die Meliorationsmaßnahmen ergaben eine wesentliche Verbesserung des Bodens. Als beste Meliorationsart stellte sich die Tieflockerung mit Volldüngung heraus. Diese so bearbeitete Parzelle hatte eine gute Krümelstabilität, eine gute Durchwurzelung, eine gute Wasserführung, sowie eine gute Hohlraumbildung, und dementsprechend bessere Erträge. Dagegen war die Meliorationsmaßnahme der Tieflockerung unter gleichzeitiger Einbringung von Kalk weniger zufriedenstellend. Da der Kalk nicht gleichmäßig in dem Boden verteilt werden konnte, entstanden säulen- und brückenartige Kalkverdichtungen, so daß der Kalk nicht nutzbar wurde.

Bei der tiefgedüngten Parzelle ist die Frage nach der optimalen Verteilung des Düngers nicht so entscheidend, weil die Pflanzenwurzeln sich sehr leicht nach dem Orte der höheren Nährstoffkonzentration hin orientieren. So ist auch durch die zunächst einmal als rein mechanisch zu betrachtende Wirkung der Durchwurzelung das Aufschließen des Bodens besser als bei allen anderen Varianten. Nach einem gewissen Zeitraum, mit dem Absterben der unterirdischen Pflanzenteile, beginnt dann auch die biogene Aufschließung wirksam zu werden. Wie die Bodenschliffuntersuchung zeigte, ist vor allem eine starke Anreicherung von Collembolen - Aggregaten und Regenwurmaggregaten mit einer losen, hohlraumreichen Lagerung die Folge.

Die Messungen mit der Rammsonde und der Goudaschen Drucksonde ergaben für die meliorierten Parzellen einen niedrigeren Eindringwiderstand als für die unmeliorierten, so daß hier eindeutig eine gute Lockerung vorliegt. Gleichzeitig zeigte sich dabei eine Verbesserung des Wasserhaushaltes in den tieferen Horizonten. Aus allen gemessenen Werten und Beobachtungen geht hervor, daß die Meliorationsmaßnahmen in Eschweiler-Dürwiß eine starke Verbesserung des Bodens gegenüber dem ursprünglichen Zustand gebracht haben.

Eine reine Dränung dürfte in diesem staunassen Boden bei einem Jahresniederschlag von 600-700 mm nicht notwendig sein, denn das Niederschlagswasser soll dem Boden nicht entzogen, sondern in ihm für die Wachstumsperiode der Pflanzen gespeichert werden.

Die Parzelle in Eschweiler-Dürwiß mit Dränung kann nicht als Aussage über diese Meliorationsmaßnahme dienen, da der Boden durch die Einbringung der Dränrohre zwar gelockert wurde, die Dräne jedoch nicht genügende Abflußmöglichkeit besaßen. Somit kann man nicht von einer Dränmelioration in den Versuchen sprechen.

In Eschweiler-Dürwiß wurden zwei Nullparzellen angelegt, von denen die Nullparzelle Nr. 2 zwischen der Tieflockerungsparzelle ohne Düngung und der gedränten Parzelle liegt. Die Messungen und Beobachtungen an der Nullparzelle Nr. 2 zeigten von Anfang an bessere Werte als bei der Nullparzelle Nr. 1, was sehr wahrscheinlich auf ungleiche Kippung zurückzuführen ist.

Auch in den Ertragsergebnissen spiegeln sich die Bodenwerte wider. Die besten Ergebnisse wurden auf der tiefgelockerten und mit Voll-düngung behandelten Parzelle gefunden. Das Ziel aller Meliorationsmaßnahmen, den Ertrag durch die Steuerung des Wasserhaushalts und des Porenvolumens zu steigern, wurde auf dem Versuchsfeld Eschweiler-Dürwiß erreicht, wie die folgende Tab. 12 zeigt.

Eindeutig geht aus dem Vergleich der meliorierten Parzellen mit den Nullparzellen hervor, daß in den Jahren 1965 - 1967 immer ein Mehrertrag auf den meliorierten Parzellen festzustellen war.

Tabelle 12: Ernteergebnisse auf dem Versuchsfeld Eschweiler-Dürwiß 1965, 1966 und 1967

Parzelle	Erträge 1965		Erträge 1966		Erträge 1967	
	W. Weizen	dz/ha (1) %	Roggen	dz/ha (1) %	Zuckerrüben	dz/ha (1) %
Nullparzelle I	34, 4	100	30, 6	100	432, 8	100
Nullparzelle II	38, 4	112	32, 6	106	539, 7	124
Tonrohrdränung	39, 6	115	33, 2	109	526, 0	121
Tieflockering + M. drän.	39, 9	116	33, 1	108	564, 3	130
Tieflockering	42, 5	124	40, 1	131	561, 6	129
Tieflockering + Kalk	41, 4	120	31, 7	104	591, 7	136
Tieflockering + Thomasph.	48, 2	140	28, 7	94	624, 6	144
Tieflockering + Voldüng.	41, 7	121	42, 2	138	654, 7	151

(1) Ertrag in % gegenüber der Nullparzelle I

Nullparzelle I = 100

In Steinfurt liegt ein Pseudogley mit einem hohen Tongehalt vor. Die mittleren Jahresniederschläge mit 950 mm sind sehr hoch. Außerdem liegt das Versuchsfeld am Hang unter dem Einfluß von Hangdruckwasser. Aus diesen Gründen war die Anlage eines Fangdräns zum Ableiten des Hangwassers unbedingt notwendig, damit kein Fremdwasser mehr in das Feld eindringen konnte.

Zum Ableiten der hohen Niederschlagsmengen wurde in einem Teil des Feldes eine Bedarfsdränung verlegt, die quer zum Hang verläuft. Die Messungen ergaben etwas bessere Werte für die Parzelle mit Tieflockerung und Bedarfsdränung, als für die Parzelle, die nur tiefgelockert worden war. Die Werte "zwischen zwei Lockerungen" waren besser als die der Nullparzelle. Die meliorierten Flächen zeigen eine höhere Wasserdurchlässigkeit, und auch der Wasserhaushalt in tieferen Lagen war verbessert. Durch die Strukturveränderung sind zwar günstigere Bedingungen für die Wasserführung erreicht worden, jedoch reicht die Tiefe und die seitliche Ausbreitung der Lockerung nicht immer aus, alles Wasser so zu verteilen, daß jegliche schädliche Nässe vermieden würde.

Eine globale Betrachtung der Werte der Porenverteilung aus den Jahren 1965 bis 1968 macht die Gefügeveränderung deutlich. So war das Gesamtporenvolumen im Durchschnitt um 6,6 % erhöht worden. Der Gehalt an Totwasser verringerte sich um 3,9-4,2 %, was den Meliorationseffekt deutlich macht. Mehr noch ist dies aber an der Zunahme der selbstdränenden Poren um 2,4-7,3 % auf einen Wert von 10,5 % zu erkennen. Die Summe an pflanzenverfügbarem Wasser stieg gleichfalls um 1,6-3,9 %. Die Vergleichswerte sind von 30 und 50 cm Tiefe gerechnet.

Vier Jahre nach Durchführung der Melioration ist noch eindeutig der Effekt erhalten bzw. hat er sich noch verstärkt (Tab. 13). Die anhaltende Wirkung der Lockerung wurde bei der Aufgrabung der Untersuchungsprofile Ende 1967 besonders sichtbar. Die 2 Tage zuvor gefallenen Niederschläge füllten durch die Wasserzügigkeit der

Tabelle 13: Zusammengefaßte Ergebnisse der Porenverteilung der Null- und Tiefenlockerungspartzen
von Steinfurt 1965 - 1968

	Tiefe cm	Summe	langsam dränende Poren	Gesamtporen selbst drän.	Feld- Kapaz.	Pflanzen- verfügb. Wasser	Tot- Wasser	GPV
Tiefenlockerung	30 cm	7,3	1,9	9,2	43,4	15,8	27,6	52,6
	50 cm	5,3	2,5	7,8	45,8	14,8	31,0	53,6
	30 cm	5,0	3,0	8,0	48,0	22,5	25,5	56,0
	50 cm	8,0	4,0	12,0	47,8	20,8	27,0	59,8
	30 cm	10,2	3,0	13,2	42,0	17,5	25,2	54,5
1967	50 cm	6,8	3,0	9,8	43,9	19,7	24,8	53,8
	30 cm	11,1	1,6	12,7	40,6	15,1	25,5	53,3
	50 cm	10,7	1,8	12,5	41,4	15,5	25,9	53,9
	30 cm	ø	2,3	5,7	43,5	17,4	26,0	54,6
Nullparzelle	30 cm	2,8	ø	10,5	44,7	17,7	27,1	54,6
	50 cm	2,2	1,3	3,5	47,0	18,5	28,5	50,5
	30 cm	2,0	1,9	3,9	44,4	10,2	34,2	48,3
	50 cm	1,2	1,3	2,5	48,2	19,8	28,4	50,7
	30 cm	0,6	1,3	1,9	49,2	16,2	33,0	51,1
1967	30 cm	3,4	1,4	4,8	45,9	11,1	34,8	50,7
	50 cm	2,3	3,8	3,8	47,0	14,4	31,8	49,8
	30 cm	1,7	0,9	2,6	43,2	13,9	29,3	45,3
1968	50 cm	1,6	1,6	3,2	42,5	14,5	28,0	45,9
	30 cm	ø	1,2	3,3	46,0	15,8	30,2	48,0
	50 cm	2,1	2,1	3,2	45,7	13,8	31,2	48,0
	30 cm	1,1	1,1	2,4	-2,5	1,6	-4,2	+6,6
		Diff.	+0,7	+7,3	-1,0	+3,9	-3,9	

Lockerungsparzelle sehr bald die Bodenprofil-Grube. Andererseits blieb die Grube in der Null-Parzelle völlig trocken. Die Beobachtung der Oberfläche dagegen zeigte keine gravierenden Unterschiede der einzelnen Parzellen. Vor der Melioration wurde das Feld nur als Grünland verwandt. Durch die Tieflockerung wurde eine ackerbauliche Nutzung möglich.

Die Besitzer bauten bisher 1966 Hafer, 1967 Futterrüben und 1968 Gerste mit Erfolg an.

In Grieth-Griethausen ist der Boden durch Auf- und Abtrag verändert worden. Der Auftrag der Lehmdecke soll 1 m betragen. Da die Lockerung erst im Herbst 1966 durchgeführt wurde, liegen bisher Untersuchungsergebnisse nur von 2 Jahren vor. Die Verdichtung des Bodens beruht hier auf einer mechanischen Verdichtung, die durch den Deichbau und durch das Befahren der Felder mit schweren Schleppern und Raupen entstanden ist.

Als Untersuchungsflächen dienten Tieflockerungs- und Nullparzellen, sowie eine Parzelle, die unbeeinflusst war, so daß ein Vergleich zum ursprünglichen Bodenzustand gezogen werden konnte. Bei der unbeeinflussten Parzelle handelt es sich um einen Boden, der durch den Deichbau weder abgetragen noch aufgetragen wurde, und damit besteht die Möglichkeit, Meßwerte des ursprünglichen Bodens zu erhalten. Der Boden zeigt ein gutes Gesamtporenvolumen und eine gute Wasserdurchlässigkeit, die Wurzelbildung ist tiefgehend und der Besatz an Regenwürmern ist zufriedenstellend. Beim Vergleich des unveränderten Profils mit dem Profil II (tiefgelockert) ergeben sich bessere Werte für das ungestörte Profil. Dies kann seinen Grund darin haben, daß der Lockerungsabstand 1,50 m betrug und damit zu weit war; denn das Profil IV, das ebenfalls tiefgelockert wurde, aber mit 0,70 - 0,80 m Abstand, zeigt etwas bessere Werte als das unveränderte Profil. Beide Nullparzellen sind eindeutig schlechter als alle anderen Versuchsparzellen.

Die Lockerung des Bodens erfolgte mit einem für den stark verdichteten Boden in der Stärke nicht entsprechenden Gerät und mußte mit drei Schleppern und später mit einer Raupe und einem Schlepper durchgeführt werden. Hieraus ergab sich, daß nicht die gewünschte Tiefe der Lockerung erreicht werden konnte. Weiterhin ist der Boden sehr steinig, was auch die Tieflockerung erschwerte.

Die Felder werden im Frühjahr vom Rhein überflutet. Beim Rückgang des Hochwassers bleibt in den Feldern noch längere Zeit Wasser stehen. Ein Ziel der Tieflockerung war, dieses Wasser schneller abfließen zu lassen.

Der Besitzer der Felder beobachtete, daß die Lockerungsflächen schneller abtrockneten als die nichtgelockerten Flächen. Ob hier eine zufriedenstellende und nachhaltige Meliorationsmaßnahme vorliegt, ist nach so kurzer Beobachtungszeit noch nicht zu übersehen. Da die Bodenoberfläche sehr dicht ist, und der Unterboden Sand- und Feinkies enthält, wäre ein Tiefumbruch vielleicht noch besser, um den Unterboden mit der Oberfläche zu vermischen und so eine bessere Bodenstruktur zu schaffen. Doch ist hier jede Meliorationsmaßnahme der Gefahr ausgesetzt, daß kurz nach Durchführung der Maßnahme bei Hochwasser der Boden fortgespült werden könnte, und somit eine Wiederverdichtung eintreten würde.

Versuche der Forschungsstelle für Grünland und Futterbau des Landes Nordrhein-Westfalen ergaben, daß der Kalkgehalt und der pH-Wert des Bodens zufriedenstellend ist. Auch hat das Rheinhochwasser keine pflanzenschädlichen Wirkungen gezeigt, so daß von dieser Seite keine Gefahr bei Überschwemmung drohte. Bei allen tiefgelockerten Versuchsfeldern ergab sich insofern eine Verbesserung, als die Felder im Frühjahr schneller abgetrocknet waren und somit früher befahren und bearbeitet werden konnten.

5. Zusammenfassung

1. In der vorliegenden Arbeit wird zunächst die Entwicklung der Tieflockerung kurz beschrieben, vor allem die Auswirkung dieser Meliorationsmaßnahme auf verschiedenen Böden.
2. Als Beispiele bereits durchgeführter Tieflockerungen in verschiedenen Gebieten werden Ergebnisse aus Bayern, Hessen und dem Rheinland aufgezeichnet.
3. Da für die praktische Meliorationsmaßnahme die verwendeten Geräte von großer Wichtigkeit sind, werden eine Reihe erprobter und neuer Meliorationsgeräte aufgeführt.
4. Die eigenen Untersuchungen wurden auf 3 verschiedenen Feldern durchgeführt und zwar in Eschweiler-Dürwiß, Steinfurt und Grieth-Griethausen.
5. Bei dem Boden in Eschweiler-Dürwiß handelt es sich um einen Neuboden aus Löß. In Steinfurt liegt ein Pseudogley aus Solifluktionsschutt mit geringen Lößbeimengungen über Basalt vor. In Grieth-Griethausen kann von einem Bodentyp nicht gesprochen werden, da hier eine künstliche Umlagerung stattfand. Zum Auftrag der Lehmdecke wurde feinsandiger Lehm bis Lehm genommen.
6. Folgende Untersuchungen wurden vorgenommen: Korngrößenzusammensetzung, Gesamtporenvolumen und Porengrößenverteilung, Wasserdurchlässigkeit, Luftdurchlässigkeit, Eindringwiderstand und mikromorphologische Bodenuntersuchung, letztere nur für Eschweiler-Dürwiß.
7. Für Eschweiler-Dürwiß wurden Ertragsmessungen vorgenommen, die ein zufriedenstellendes Ergebnis auf den meliorierten Par-

zellen ergab. Für die anderen Untersuchungsfelder liegen keine Messungen vor. Jedoch waren auch hier nach Aussagen der Besitzer die Meliorationsmaßnahmen zufriedenstellend.

8. Für alle meliorierten Felder wurde eine schnellere Abtrocknung im Frühjahr beobachtet. Bei Hangdruckwasser ist jedoch eine Bedarfsdränung notwendig.
9. Die Standorte Eschweiler-Dürwiß und Steinfurt sind 4 Jahre hindurch eingehend beobachtet und untersucht worden. Bisher ist eine gute und nachhaltige Meliorationswirkung zu verzeichnen.

Tabelle 14: Gesamtporenvolumen, Dichte in g/cm³, Wassergehalt bei pF 1, 4, pF 1, 77, pF 2, 54, pF 4, 2

Porenbereiche absolut (in Volumenprozent) und in % des Gesamtporenvolumens

Eschweiler-Dürwiß, Mai 1967

Tieflockerung + Volldüngung P 2												
Tiefe	GPV	Dichte	pF 1, 4	pF 1, 77	pF 2, 54	pF 4, 2	120 μ		50-10 μ		10-0, 2 μ	
							abs	%	abs	%	abs	%
10-15	50,2	1,36	34,7	33,1	29,5	11,7	15,5	30,6	1,6	3,8	3,6	7,1
18-33	50,2	1,36	34,0	33,2	30,2	10,8	15,6	30,8	1,4	2,3	3,2	6,3
45-50	48,3	1,40	35,1	33,6	29,0	10,8	12,8	26,2	1,9	3,9	4,6	9,5
Tieflockerung + Thomasphosphat P 3												
10-15	47,1	1,49	36,1	34,0	30,5	14,9	11,0	23,4	2,1	4,2	3,5	7,4
28-33	44,3	1,57	35,0	33,6	30,5	12,6	9,3	20,7	1,4	3,1	3,1	6,9
45-50	41,7	1,57	34,0	33,6	30,1	11,6	7,1	16,7	1,0	2,3	3,5	8,3
Tieflockerung + Kalk P 4												
10-15	49,1	1,35	33,3	31,8	28,2	13,0	15,8	31,9	1,5	3,6	3,6	7,2
28-33	46,0	1,48	36,1	35,0	31,8	11,3	9,9	21,5	1,1	2,1	3,2	6,9
45-50	43,0	1,48	36,4	35,0	30,0	11,1	6,6	15,1	1,6	3,7	4,8	11,1
Tieflockerung ohne Düngung P 5												
10-15	42,9	1,54	37,6	36,6	33,8	13,7	5,3	11,8	1,0	2,3	2,8	6,5
28-33	43,0	1,54	37,2	35,8	32,1	14,2	5,5	12,7	1,4	3,2	3,7	8,6
45-50	44,1	1,49	36,3	34,6	30,2	12,0	8,0	18,1	1,7	3,8	4,4	9,9
Nullparzelle II P 6												
10-15	46,0	1,50	36,2	35,2	32,2	14,4	9,8	21,5	1,0	2,1	2,8	6,0
28-33	42,5	1,63	35,2	34,6	32,1	18,4	7,3	16,9	0,6	1,4	2,5	5,8
45-50	44,3	1,47	34,1	32,1	29,1	16,9	10,2	23,0	2,0	4,5	3,0	6,7
Nullparzelle I P 7												
10-15	39,1	1,55	34,4	34,0	31,3	15,6	4,7	12,0	0,4	0,9	2,7	6,9
28-33	33,8	1,77	30,7	30,5	28,4	15,0	3,1	9,1	0,2	0,6	2,1	6,2
45-50	35,9	1,74	31,2	30,9	28,6	14,6	4,7	13,0	0,3	0,8	2,3	6,4

Tabelle 16: Gesamtporenvolumen, Dichte in g/cm^3 , Wassergehalt bei pF 1,4, pF 1,77, pF 2,54, pF 4,2
 Porenbereiche absolut (in Volumenprozent) und in % des Gesamtporenvolumens
 Eschweiler-Dürwiß, Mai 1968

Maulwurfdränung P 1																		
Tiefe	GPV	Dichte	pF 1,4	pF 1,77	pF 2,54	pF 4,2	120 μ		120-50 μ		50-10 μ		$\frac{10 \mu}{\text{abs}}$ %		$\frac{10-0,2 \mu}{\text{abs}}$ %		$\frac{0,2 \mu}{\text{abs}}$ %	
							abs	%	abs	%	abs	%	abs	%	abs	%	abs	%
28-33	43,3	1,51	36,1	33,8	28,2	12,8	7,2	16,6	2,3	5,3	5,6	12,9	15,1	34,8	15,4	35,5	12,8	29,5
45-50	45,7	1,48	36,2	33,0	28,0	11,5	9,5	20,7	3,2	7,0	6,0	13,1	16,7	40,9	16,5	36,1	11,5	25,1
Tieflockerung + Volldüngung P 2																		
28-33	47,5	1,42	35,6	33,8	27,8	10,9	11,9	25,0	1,8	3,7	6,0	12,6	19,7	41,4	16,8	35,5	10,9	22,9
45-50	49,2	1,42	37,9	35,5	27,5	10,0	11,3	22,9	2,4	4,8	8,0	16,2	21,7	44,1	17,5	35,5	10,0	20,0
Tieflockerung + Thomasphosphat P 3																		
28-33	44,0	1,55	36,8	35,1	29,4	10,5	7,2	16,3	1,7	3,8	5,7	12,9	14,6	33,1	18,9	42,9	10,5	23,8
45-50	48,2	1,44	37,2	35,2	28,6	10,9	11,0	22,8	2,0	4,1	6,6	13,6	19,6	40,6	17,7	36,7	10,9	22,6
Tieflockerung + Kalk P 4																		
28-33	47,5	1,43	36,1	34,1	28,9	11,1	11,4	24,0	2,0	4,2	5,2	10,9	18,6	39,1	17,8	37,4	11,1	23,3
45-50	45,1	1,48	36,3	34,4	28,3	11,8	8,8	19,5	1,9	4,2	6,1	13,5	16,8	37,2	16,5	36,5	11,8	26,1
Tieflockerung ohne Düngung P 5																		
28-33	49,5	1,39	37,6	35,6	29,4	9,7	11,9	24,0	2,0	4,0	6,2	12,5	10,1	20,4	18,4	37,1	9,7	19,5
45-50	48,5	1,42	34,8	32,4	27,2	9,8	13,7	28,2	2,4	4,9	5,2	10,7	21,3	43,9	19,2	39,5	9,8	20,2
Nullparzelle II P 6																		
28-33	38,2	1,54	33,7	32,1	26,6	19,1	4,5	11,7	1,6	4,1	5,5	14,3	11,6	30,3	11,5	31,0	15,1	39,5
45-50	37,5	1,53	34,1	32,4	28,1	16,9	3,4	9,0	1,7	4,5	4,3	11,4	9,4	25,0	11,2	29,5	16,9	45,0
Dränung P 7																		
28-33	48,4	1,36	33,4	31,2	26,0	9,5	15,0	30,9	2,2	4,5	5,2	10,7	22,4	46,2	16,5	34,0	9,5	19,6
45-50	43,2	1,53	35,6	33,7	29,6	14,8	7,6	17,5	1,9	4,3	4,1	9,4	13,6	31,4	14,8	34,2	14,8	34,2
Nullparzelle I P 8																		
28-33	35,5	1,71	32,0	31,1	27,6	17,6	3,5	9,8	0,9	2,5	3,5	10,4	7,9	22,2	11,0	30,0	17,6	49,5
45-50	35,8	1,68	31,7	30,7	25,9	18,4	4,1	11,4	1,0	2,7	4,8	13,4	9,9	27,6	7,5	20,9	18,4	51,3

Tabelle 17: Durchlässigkeitswerte (errechnet aus 5 Messungen)

Eschweiler-Dürwiß, Parz. 1

Maulwurfdrän

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
18. 5.67	28-33	hohe	129,6	$1,5 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	203,9	$2,36 \times 10^{-3}$
24.11.67	28-33	hohe	821,6	$9,51 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	sehr hohe	1584,6	$1,79 \times 10^{-2}$
16. 5.68	28-33	hohe	224,6	$2,6 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	466,5	$5,4 \times 10^{-3}$

Eschweiler-Dürwiß, Parz. 2

Tieflockerung mit Volldüngung

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
18. 5.67	28-33	hohe	808,7	$9,36 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	sehr hohe	430,7	$4,98 \times 10^{-2}$
24.11.67	28-33	hohe	213,4	$2,47 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	223,7	$2,59 \times 10^{-3}$
16. 5.68	28-33	sehr hohe	1080,0	$1,25 \times 10^{-2}$
" " "	45-50	sehr hohe	1054,0	$1,22 \times 10^{-2}$

Eschweiler-Dürwiß, Parz. 3

Tieflockerung mit Thomasphosphat

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
18. 5.67	28-33	hohe	108,8	$1,26 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	579,7	$6,71 \times 10^{-3}$
24.11.67	28-33	hohe	140,8	$1,63 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	496,8	$5,75 \times 10^{-3}$
16. 5.68	28-33	sehr hohe	1546,0	$1,79 \times 10^{-2}$
" " "	45-50	sehr hohe	1520,6	$1,76 \times 10^{-2}$

Fortsetzung von Tabelle 17

Eschweiler-Dürwiß, Parz. 4

Tieflockerung mit Kalk

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
18. 5.67	28-33	hohe	605,6	$7,01 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	222,9	$2,58 \times 10^{-3}$
24.11.67	28-33	mittlere	40,2	$4,66 \times 10^{-4}$
" " "	45-50	hohe	401,7	$4,65 \times 10^{-3}$
16. 5.68	28-33	hohe	705,8	$8,17 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	sehr hohe	1935,3	$2,24 \times 10^{-2}$

Eschweiler-Dürwiß, Parz. 5

Tieflockerung ohne Düngung

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
18. 5.67	28-33	hohe	108,0	$1,25 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	235,8	$2,73 \times 10^{-3}$
24.11.67	28-33	mittlere	44,5	$5,16 \times 10^{-4}$
" " "	45-50	hohe	415,5	$4,81 \times 10^{-3}$
16. 5.68	28-33	sehr hohe	3136,3	$3,63 \times 10^{-2}$
" " "	45-50	sehr hohe	1166,4	$1,35 \times 10^{-2}$

Eschweiler-Dürwiß, Parz. 6

Nullparzelle Nr. II

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
18. 5.67	28-33	mittlere	60,1	$6,96 \times 10^{-4}$
" " "	45-50	mittlere	16,6	$1,93 \times 10^{-4}$
24.11.67	28-33	geringe	1,6	$1,91 \times 10^{-5}$
" " "	45-50	geringe	1,1	$1,31 \times 10^{-5}$
16. 5.68	28-33	mittlere	13,5	$1,57 \times 10^{-4}$
" " "	45-50	mittlere	53,8	$6,23 \times 10^{-4}$

Fortsetzung von Tabelle 17

Eschweiler-Dürwiß, Parz. 7

Tonrohrdränung

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
18. 5.67	28-33	hohe	237,6	$2,75 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	mittlere	113,8	$1,6 \times 10^{-4}$
24.11.67	28-33	hohe	327,4	$3,79 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	493,3	$5,71 \times 10^{-3}$
16. 5.68	28-33	mittlere	228,9	$2,65 \times 10^{-4}$
" " "	45-50	hohe	316,2	$3,66 \times 10^{-3}$

Eschweiler-Dürwiß, Parz. 8

Nullparzelle I

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
18. 5.67	28-33	geringe	3,5	$4,16 \times 10^{-5}$
" " "	45-50	mittlere	13,8	$1,60 \times 10^{-4}$
24.11.67	28-33	geringe	1,11	$1,28 \times 10^{-5}$
" " "	45-50	sehr geringe	0,12	$1,41 \times 10^{-6}$
16. 5.68	28-33	sehr geringe	0,17	$2,0 \times 10^{-6}$
" " "	45-50	geringe	4,4	$5,09 \times 10^{-5}$

Tabelle 18: Eschweiler-Dürwiß, Luftdurchlässigkeit nach RID
Mai 1967

Tiefe cm	in kg/cm ²			
	TL.+Volldüng.	TL.mit Kalk	Nullparz. II	Nullparz. I
0-20	0,49	0,54	0,58	0,59
20-30	0,55	0,55	0,58	0,60
30-40	0,56	0,55	0,60	0,59
40-50	0,58	0,58	0,57	0,60
50-60	0,60	0,60	0,59	0,60
60-70	0,60	0,60	0,60	0,60

Tabelle 19: Eschweiler-Dürwiß, Luftdurchlässigkeit nach RID
Mai 1968

Tiefe cm	in kg/cm ²			
	TL.+Volldüng.	TL.mit Kalk	Nullparz. II	Nullparz. I
0-20	0,52	0,52	0,58	0,58
20-30	0,49	0,58	0,58	0,60
30-40	0,58	0,58	0,59	0,60
40-50	0,56	0,59	0,60	0,59
50-60	0,60	0,60	0,60	0,60
60-70	0,60	0,60	0,60	0,60

Tabelle 20: Eindringwiderstand in kg/cm² und Wassergehalt
in Gewicht %
Eschweiler-Dürwiß, Mai 1967

Tiefe cm	<u>Maulwurfd.</u>		<u>TL. + Volld.</u>		<u>TL. + Thomasph.</u>		<u>TL. + Kalk</u>	
	WG%	kg/cm ²	WG%	kg/cm ²	WG%	kg/cm ²	WG%	kg/cm ²
0-10	13,5	-	14,7	5,3	15,7	5,4	12,3	5,4
10-20	15,8	-	20,5	5,4	19,4	4,3	17,1	5,1
20-30	18,5	-	20,3	4,7	20,0	4,0	18,7	5,0
30-40	20,8	-	19,0	5,2	25,0	3,8	19,0	4,3
40-50	23,8	-	25,0	5,1	28,5	4,5	21,7	4,6
50-60	19,3	-	27,0	5,9	28,9	5,7	23,2	5,6
60-70	18,6	--	20,8	6,8	27,2	7,5	22,2	7,0

Tiefe cm	<u>TL. o. Düng.</u>		<u>Nullparz. II</u>		<u>Dränung</u>		<u>Nullparz. I</u>	
	WG%	kg/cm ²	WG%	kg/cm ²	WG%	kg/cm ²	WG%	kg/cm ²
0-10	15,7	4,7	16,6	5,9	14,6	-	16,6	6,3
10-20	17,5	4,6	19,2	5,2	17,6	-	19,2	5,9
20-30	18,5	4,9	20,0	5,4	19,6	-	20,0	6,4
30-40	21,8	5,6	16,2	6,3	20,4	-	16,2	7,9
40-50	22,7	5,9	15,7	7,5	26,8	-	16,1	12,7
50-60	25,0	5,8	18,7	7,7	20,4	-	14,2	15,0
60-70	17,0	7,0	16,0	8,2	21,0	-	14,7	15,0

Tabelle 21: Eindringwiderstand in kg/cm^2 und Wassergehalt
in Gewicht %
Eschweiler-Dürwiß, November 1967

Tiefe cm	<u>TL+Volldüng.</u>		<u>TL+Thomasph.</u>		<u>TL+Kalk</u>	
	WG%	kg/cm^2	WG%	kg/cm^2	WG%	kg/cm^2
0-10	14,6	4,8	13,5	4,6	13,5	5,1
10-20	16,2	5,1	16,0	4,6	14,3	4,7
20-30	17,5	5,2	16,2	5,1	16,6	5,5
30-40	17,4	5,6	19,2	6,6	14,8	6,8
40-50	19,2	6,6	18,7	8,0	17,5	8,2
50-60	18,2	8,6	19,6	9,9	18,5	9,8
60-70	18,5	10,3	-	11,8	15,5	12,7

Tiefe cm	<u>TL+Maulwurfdrän.</u>		<u>Nullparz. II</u>		<u>Nullparz. I</u>	
	WG%	kg/cm^2	WG%	kg/cm^2	WG%	kg/cm^2
0-10	16,6	4,6	16,6	5,5	17,4	6,2
10-20	16,0	5,5	17,1	7,1	17,6	6,8
20-30	15,2	5,2	16,0	7,8	14,7	8,0
30-40	17,0	6,3	14,7	9,1	14,2	10,9
40-50	15,1	8,0	-	11,7	12,9	13,6
50-60	14,2	9,0	13,9	13,8	14,5	14,1
60-70	15,7	10,8	13,0	15,0	12,4	15,0

Tabelle 22: Eindringwiderstand in kg/cm² und Wassergehalt
in Gewicht %
Eschweiler-Dürwiß, Mai 1968

Tiefe cm	<u>Maulwurfd.</u>		<u>TL.+Volld.</u>		<u>TL.+Thomasph.</u>		<u>TL. + Kalk</u>	
	WG%	kg/cm ²	WG%	kg/cm ²	WG%	kg/cm ²	WG%	kg/cm ²
0-10	13,5	6,0	11,1	5,5	11,4	6,3	16,0	6,5
10-20	16,2	4,1	12,9	4,7	13,5	4,7	16,0	5,5
20-30	20,3	5,0	16,6	6,3	14,2	6,0	16,6	5,0
30-40	19,0	7,3	20,0	7,5	18,7	7,2	19,2	5,6
40-50	22,5	7,0	20,0	6,5	15,1	6,7	16,0	6,5
50-60	21,7	6,7	26,6	5,8	16,3	5,6	16,6	7,2
60-70	19,2	7,6	23,8	5,1	20,0	5,1	22,7	6,8

Tiefe cm	<u>TL. o. Düng.</u>		<u>Nullparz. II</u>		<u>Dränung</u>		<u>Nullparz. I</u>	
	WG%	kg/cm ²	WG%	kg/cm ²	WG%	kg/cm ²	WG%	kg/cm ²
0-10	14,2	5,5	22,8	5,6	15,3	4,4	18,9	6,1
10-20	15,2	5,6	19,3	6,6	16,2	4,1	18,3	5,4
20-30	17,0	5,1	18,5	6,4	17,4	5,8	14,8	8,2
30-40	16,6	6,1	18,5	8,5	17,5	8,1	10,5	13,7
40-50	19,6	6,0	15,3	12,3	16,3	8,7	14,7	15,0
50-60	27,9	6,0	11,5	12,5	20,3	5,8	13,9	15,0
60-70	18,0	8,7	12,5	13,5	13,0	9,5	13,0	15,0

Tabelle 23: Eschweiler-Dürwiß, Ergebnisse der Schlagsondenmessungen in meliorierten und unmeliorierten Parzellen, (Mittelwert von 10 Wiederholungen) Werte von Nullparz. I = 100, Mai 1967

Tiefe cm	Null I Schlag- zahl %	Null II Schlag- zahl %	TL. Schlag- zahl %	TL. + CaO Schlag- zahl %	TL. + Thomasph. Schlag- zahl %	TL. + Voll düng. Schlag- zahl %	Maulwurfd. Schlag- zahl %	Dränung Schlag- zahl %
0-10	7,7 100	6,0 77,5	3,2 41,5	3,0 39,0	3,0 39,0	2,4 31,0	3,4 44,1	4,0 51,9
10-20	8,4 100	8,0 95,2	4,0 47,6	4,5 53,6	5,2 61,9	3,6 42,9	5,3 63,0	4,4 52,3
20-30	11,6 100	8,7 75,0	4,4 37,9	5,0 43,1	5,0 43,0	4,2 36,2	5,0 43,1	5,2 44,8
30-40	20,8 100	11,0 52,9	6,4 30,8	6,5 31,3	8,2 39,4	5,4 26,0	6,4 30,7	8,0 38,4
40-50	25,0 100	13,2 52,8	6,6 26,4	7,7 30,8	10,4 41,6	6,2 25,0	8,0 32,0	7,8 31,2
50-60	25,0 100	15,2 60,8	7,8 31,2	8,7 34,8	10,7 42,8	8,0 32,0	9,2 36,8	9,0 36,0
60-70	30,5 100	15,0 49,1	16,2 53,1	9,0 29,5	17,3 56,3	9,4 30,8	12,0 39,3	10,2 33,4

Tabelle 24: Eschweiler-Dürwiß, Ergebnisse der Schlagsondenmessungen in meliorierten u. unmeliorierten Parzellen, (Mittelwert von 10 Wiederholungen) Werte von Nullparz. I = 100, Mai 1968

Tiefe cm	Null I		Null II		TL.		TL. + CaO		TL. + Thomasph.		TL. + Volldüng.		Maulwurfd.		Dränung	
	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%
0-10	6,8	100	6,0	88,0	4,0	58,8	4,5	66,1	3,0	44,1	3,8	55,8	4,0	58,8	3,0	44,1
10-20	8,2	100	7,7	93,9	4,0	48,7	4,0	48,7	5,7	69,5	6,0	73,1	6,0	73,1	5,5	67,0
20-30	10,1	100	8,2	81,1	6,0	59,4	5,7	56,4	6,0	59,4	5,3	52,4	5,4	53,4	7,0	69,3
30-40	15,9	100	11,0	69,1	7,1	44,6	7,0	44,0	7,7	48,7	8,0	50,3	9,0	56,6	6,8	42,7
40-50	19,1	100	14,3	74,8	6,8	35,6	9,0	47,1	10,6	45,4	6,0	31,4	9,2	48,1	9,0	47,1
50-60	20,1	100	18,5	92,0	7,5	37,3	8,0	39,8	11,2	55,7	8,5	42,2	10,0	49,7	10,2	50,7
60-70	22,7	100	20,0	88,1	11,0	48,4	9,2	40,5	13,0	57,2	10,0	44,0	11,4	50,2	11,0	48,4

Tabelle 25: Ergebnisse der Schlagsondenmessungen in meliorierten u. unmeliorierten Parzellen,
relative Werte der Schlagsondenmessungen, Nullparzelle I 60 - 70 cm Tiefe = 100,
absolut 30,5 Schlage/10 cm. WB = $\frac{n \cdot g \cdot h}{e} = \text{kg/cm}^2$

Eschweiler-Dürwiß, Mai 1967

Tiefe cm	Null I		Null II		TL.		TL. + CaO		TL. + Thomasph.		TL. + Volldüng.		Maulwurfd.		Dränung	
	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%
0-10	7,7	25,2	6,0	19,0	3,2	10,4	3,0	9,8	3,0	9,8	2,4	7,8	3,4	11,1	4,0	13,1
10-20	8,4	27,5	8,0	26,0	4,0	13,1	4,5	14,7	5,2	17,0	3,6	11,8	5,3	17,3	4,4	14,4
20-30	11,6	38,3	8,7	28,5	4,4	14,4	5,0	16,3	5,0	16,3	4,2	13,7	5,0	16,3	5,2	17,0
30-40	20,8	68,1	11,0	36,0	6,4	20,9	6,5	21,3	8,2	28,8	5,4	17,1	6,4	20,9	8,0	26,0
40-50	25,0	81,9	13,2	43,2	6,6	21,6	7,7	25,2	10,4	34,0	6,2	20,3	8,0	26,0	7,8	25,5
50-60	25,0	81,9	15,2	51,1	7,8	25,5	8,7	28,5	10,7	35,0	8,0	26,0	9,2	30,1	9,0	29,5
60-70	30,5=100		15,0	49,1	16,2	53,1	9,0	29,5	17,3	56,3	9,4	30,8	12,0	39,3	10,2	33,4

Tabelle 26: Ergebnisse der Schlagsondenmessungen in meliorierten u. unmeliorierten Parzellen,

relative Werte der Schlagsondenmessungen, Nullparzelle I 60 - 70 cm Tiefe = 100,

absolut 22,7 Schläge/10 cm. WB = n. g. h = kg/cm²

Eschweiler-Dürwiß, Mai 1968

Tiefe cm	Null I		Null II		TL.		TL. + CaO		TL. + Thomasph.		TL. + Volldüng.		Maulwurfd.		Dränung	
	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%	Schlag- zahl	%
0-10	6,8	29,9	6,0	26,4	4,0	17,6	4,5	19,8	3,0	13,2	3,8	16,7	4,0	17,6	3,0	13,2
10-20	8,2	36,1	7,7	33,9	4,0	17,6	4,0	17,6	5,7	25,1	6,0	26,4	6,0	26,4	5,5	24,2
20-30	10,1	44,4	8,2	36,1	6,0	26,4	5,7	25,1	6,0	26,4	5,3	23,3	5,4	23,7	7,0	30,8
30-40	15,9	70,0	11,0	48,4	7,1	31,2	7,0	30,8	7,7	33,9	8,0	35,2	9,0	39,6	6,8	29,9
40-50	19,1	84,0	14,3	62,9	6,8	29,9	9,0	39,6	10,6	46,6	6,0	26,4	9,2	40,5	9,0	39,6
50-60	20,1	88,4	18,5	81,4	7,5	33,0	8,0	35,2	11,2	49,3	8,5	37,4	10,0	44,0	10,2	44,3
60-70	22,7=100		20,0	88,1	11,0	48,4	9,2	40,5	13,0	57,2	10,0	44,0	11,4	50,2	11,0	48,4

Tabelle 27: Eschweiler-Dürwiß, Wassergehalt in Gewicht %

Mai 1967

Tiefe cm	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Maulwurfdrän.	13,5	15,8	18,5	20,8	23,8	19,3	18,6
TL + Volldüng.	14,7	20,5	20,3	19,0	25,0	27,0	20,8
TL + Thomasph.	15,7	19,4	20,0	25,0	28,5	28,9	27,2
TL + Kalk	12,3	17,1	18,7	19,0	21,7	23,2	22,2
TL o. Düng.	15,7	17,5	18,5	21,8	22,7	25,0	17,0
Nullparz. II	16,6	19,2	20,0	16,2	15,7	18,7	16,0
Dränung	14,6	17,6	19,6	20,4	26,8	20,4	21,0
Nullparz. I	16,6	19,2	20,0	16,2	16,1	14,2	14,7

Eschweiler-Dürwiß, Mai 1968

Tiefe cm	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Maulwurfdrän.	13,5	16,2	20,3	19,0	22,5	21,7	19,2
TL + Volldüng.	11,1	12,9	16,6	20,0	20,0	26,6	23,8
TL + Thomasph.	11,4	13,5	14,2	18,7	15,1	16,3	20,0
TL + Kalk	16,0	16,0	16,6	19,2	16,0	16,6	22,7
TL o. Düng.	14,2	15,2	17,0	16,6	19,6	27,9	18,0
Nullparz. II	22,8	19,3	18,5	18,5	15,3	11,5	12,5
Dränung	15,3	16,2	17,4	17,5	16,3	20,3	13,0
Nullparz. I	18,9	18,3	14,8	10,5	14,7	13,9	13,0

Tabelle 28: Gesamtporenvolumen, Dichte in g/cm³, Wassergehalt bei pF 1,4, pF 1,77, pF 2,54, pF 4,2

Porenbereiche absolut (in Volumenprozent) und in % des Gesamtporenvolumens

Steinfurt, April 1967

Tieflockerung am Drän P 1

Tiefe	GPV	Dichte	pF 1,4	pF 1,77	pF 2,54	pF 4,2	120 ^u abs	%	120-50 ^u abs	%	50-10 ^u abs	%	10 ^u abs	%	10-0,2 ^u abs	%	0,2 ^u abs	%
25-30	55,6	1,18	48,0	47,5	46,0	25,7	7,6	13,6	0,5	0,8	1,5	2,6	9,1	16,3	20,3	36,5	25,7	46,2
45-50	58,0	1,14	51,6	51,0	48,5	24,0	6,4	11,0	0,6	1,0	2,5	4,3	9,5	16,3	24,5	42,2	24,0	41,3

Tieflockerung zwischen Drän. P II

25-30	54,5	1,22	45,9	45,0	42,0	25,2	9,3	17,0	0,9	1,6	3,0	5,5	13,2	24,2	16,8	30,8	25,2	46,2
45-50	53,8	1,25	47,6	46,9	43,9	24,8	6,2	11,5	0,7	1,3	3,0	5,5	9,9	18,4	19,0	35,3	24,8	46,0

Zwischen zwei Locker. am Drän P III

25-30	54,8	1,22	50,5	49,9	47,6	36,8	4,3	7,8	0,6	1,0	2,3	4,1	7,8	14,2	20,3	37,0	27,3	49,8
45-50	55,2	1,20	51,6	50,9	48,7	38,7	3,6	6,5	0,7	1,2	2,2	3,9	6,5	11,7	15,7	28,4	33,0	59,7

Zwischen zwei Locker. (von P II) P IV

25-30	46,9	1,44	40,9	40,0	37,6	28,8	6,0	12,7	0,9	1,9	2,4	5,1	9,3	19,8	12,8	27,2	24,8	52,8
45-50	48,2	1,39	45,9	45,5	43,8	31,5	2,3	4,7	0,4	0,8	1,7	3,5	4,4	9,1	15,8	32,7	26,0	53,0

Nullparzelle P V

25-30	50,7	1,28	47,7	47,3	45,9	34,8	3,0	5,9	0,4	0,8	1,4	2,7	4,8	9,4	11,1	21,8	34,8	68,6
45-50	49,8	1,32	48,0	47,5	47,0	31,6	1,8	3,6	0,5	1,0	1,5	3,0	3,8	7,6	14,4	28,9	31,8	63,8

Steinfurt, November 1967

Tieflockerung am Drän P I

25-30	58,5	1,11	49,3	48,5	46,6	27,3	9,2	15,7	0,8	1,3	1,9	3,2	11,9	20,3	19,3	32,9	27,3	46,6
45-50	55,1	1,26	50,1	49,4	47,3	28,5	5,0	9,0	0,7	1,2	2,1	2,3	7,8	14,1	18,8	34,1	28,5	51,7

Tieflockerung zwischen Drän. P II

25-30	55,8	1,27	45,2	43,8	42,0	26,4	10,6	18,9	1,4	2,5	1,8	3,2	13,8	24,7	15,6	27,9	26,4	47,3
45-50	58,4	1,16	46,2	44,9	43,5	27,8	12,2	20,8	1,3	2,2	1,4	3,8	14,9	25,5	15,7	26,8	27,8	47,6

Zwischen zwei Locker. am Drän P III

25-30	51,1	1,36	45,2	44,3	43,3	29,3	5,9	11,5	0,9	1,7	1,0	1,9	7,8	15,2	14,0	27,0	29,7	58,1
45-50	55,2	1,25	50,4	50,2	49,4	31,2	4,8	8,6	0,2	0,3	0,8	1,4	5,8	10,5	18,2	32,9	31,2	56,5

Zwischen zwei Locker. (von P II) P IV

25-30	53,2	1,30	49,8	49,4	48,4	37,3	3,4	6,3	0,4	0,7	1,0	1,8	4,8	9,0	15,8	29,6	32,6	61,2
45-50	48,1	1,42	44,8	44,6	43,4	28,4	3,3	6,8	0,2	0,4	1,2	2,4	4,7	9,7	15,0	31,0	28,4	29,0

Nullparzelle P V

25-30	47,9	1,39	44,4	44,0	42,8	34,1	3,5	7,3	0,4	0,8	1,2	2,5	5,1	10,6	10,8	22,5	34,1	71,1
45-50	52,6	1,32	47,6	47,2	46,3	34,3	4,9	9,3	0,5	0,9	0,9	2,0	6,3	11,9	12,0	22,8	34,3	65,2

Tabelle 30: Durchlässigkeit (errechnet aus 5 Messungen)

Steinfurt, Parz. 1

Tieflockerung P II

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
10. 4.67	25-30	hohe	427,68	$4,95 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	427,68	$4,95 \times 10^{-3}$
8.11.67	25-30	hohe	259,20	$3,00 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	164,16	$1,90 \times 10^{-3}$
17. 4.68	25-30	hohe	307,58	$3,56 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	mittlere	63,36	$7,40 \times 10^{-4}$

Steinfurt

Tieflockerung am Drän P I

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
10. 4.67	25-30	hohe	304,12	$3,52 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	317,08	$3,67 \times 10^{-3}$
8.11.67	25-30	hohe	272,16	$3,15 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	mittlere	73,61	$8,52 \times 10^{-4}$
17. 4.68	25-30	mittlere	53,04	$6,14 \times 10^{-4}$
" " "	45-50	mittlere	47,00	$5,44 \times 10^{-4}$

Steinfurt

zwischen zwei Lockerungen am Drän P III

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
10. 4.67	25-30	mittlere	23,84	$2,76 \times 10^{-4}$
" " "	45-50	geringe	5,98	$6,93 \times 10^{-5}$
8.11.67	25-30	mittlere	12,35	$1,43 \times 10^{-4}$
" " "	45-50	sehr geringe	0,43	$5,08 \times 10^{-6}$
17. 4.68	25-30	geringe	1,37	$1,59 \times 10^{-5}$
" " "	45-50	sehr geringe	0,36	$4,24 \times 10^{-6}$

Fortsetzung von Tabelle 30

Steinfurt

Zwischen zwei Lockerungen P IV

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
10. 4. 67	25-30	geringe	0,86	$1,0 \times 10^{-5}$
" " "	45-50	sehr geringe	0,63	$7,39 \times 10^{-6}$
8.11.67	25-30	sehr geringe	1,53	$1,78 \times 10^{-6}$
" " "	45-50	sehr geringe	0,29	$3,46 \times 10^{-6}$
17. 4. 68	25-30	sehr geringe	0,17	$2,08 \times 10^{-6}$
" " "	45-50	sehr geringe	0,32	$3,71 \times 10^{-6}$

Steinfurt

Nullparzelle P V

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
10. 4. 67	25-30	sehr geringe	0,08	$1,0 \times 10^{-6}$
" " "	45-50	geringe	6,63	$7,68 \times 10^{-5}$
8.11.67	25-30	sehr geringe	0,48	$5,66 \times 10^{-6}$
" " "	45-50	sehr geringe	0,86	$1,0 \times 10^{-6}$
17. 4. 68	25-30	sehr geringe	0,52	$6,11 \times 10^{-6}$
" " "	45-50	sehr geringe	0,42	$4,89 \times 10^{-6}$

Tabelle 31: Eindringwiderstand in kg/cm^2 u. Wassergehalt
in Gewicht %
 Steinfurt, April 1967

Tiefe cm	<u>Nullparzelle</u>		<u>Tieflockerung</u>		<u>zw. zwei Locker.</u>	
	WG%	kg/cm^2	WG%	kg/cm^2	WG%	kg/cm^2
0-10	63,8	3,0	46,4	2,6	67,6	3,9
10-20	61,7	6,7	62,2	4,8	56,2	6,8
20-30	65,0	8,7	52,3	6,3	38,4	8,6
30-40	34,8	8,2	42,4	4,5	35,1	8,9
40-50	36,6	11,0	33,8	4,2	35,3	10,5
50-60	33,5	10,5	36,3	5,2	32,6	11,2
60-70	30,9	13,0	32,8	7,4	32,1	13,2

Steinfurt, November 1967

Tiefe cm	<u>Nullparzelle</u>		<u>Tieflockerung</u>		<u>zw. zwei Locker.</u>	
	WG%	kg/cm^2	WG%	kg/cm^2	WG%	kg/cm^2
0-10	45,0	2,8	58,1	2,5	58,7	2,5
10-20	45,2	6,7	37,6	4,7	27,1	4,1
20-30	32,8	8,1	28,2	5,3	29,0	5,9
30-40	29,5	9,2	30,6	6,2	27,9	8,3
40-50	30,4	12,8	29,6	7,0	25,3	11,0
50-60	26,2	13,5	29,5	8,1	25,2	12,6
60-70	19,8	15,0	26,9	9,7	25,3	14,6

Tabelle 32: Wassergehalt in Gewicht %
Steinfurt, November 1967

Tiefe cm	TL. am Drän	zw. zwei Locker. am Drän.	Nullparz.	TL. zw. Drän.	zw. zwei Locker.
0-10	57,8	47,2	45,0	58,1	58,7
10-20	25,6	42,1	45,2	37,6	27,1
20-30	30,6	31,8	32,8	28,2	29,0
30-40	41,9	30,2	29,5	30,6	27,9
40-50	35,3	30,2	30,4	29,6	25,3
50-60	45,7	27,8	26,2	29,5	25,2
60-70	37,2	28,2	19,8	26,9	25,3

Tabelle 33: Eindringwiderstand in kg/cm^2 u. Wassergehalt
in Gewicht %
Steinfurt, April 1968

Tiefe cm	<u>Nullparzelle</u>		<u>Tieflockerung</u>		<u>zw. zwei Locker.</u>	
	WG%	kg/cm^2	WG%	kg/cm^2	WG%	kg/cm^2
0-10	66,6	5,4	62,9	5,1	59,0	5,1
10-20	65,2	7,4	58,9	6,2	51,2	7,9
20-30	45,9	8,1	42,0	7,6	41,4	9,0
30-40	28,7	8,4	35,7	7,6	33,8	9,0
40-50	28,5	9,3	31,4	7,5	26,7	9,2
50-60	32,5	12,6	33,7	9,5	28,1	9,7
60-70	30,6	14,7	35,5	10,4	29,3	13,7

Tabelle 34: Gesamtporenvolumen, Dichte in g/cm³, Wassergehalt bei pF 1,4, pF 1,77, pF 2,54, pF 4,2
Porenbereiche absolut (in Volumenprozent) und in % des Gesamtporenvolumens
Grieth-Griethausen, März 1967

Profil I ungestörter Boden

Tiefe	GPV	Dichte	pF 1,4	pF 1,77	pF 2,54	pF 4,2	120 μ abs	120 μ %	120-50 μ abs	120-50 μ %	50-10 μ abs	50-10 μ %	10 μ abs	10 μ %	10-0,2 μ abs	10-0,2 μ %	0,2 μ abs	0,2 μ %
10-15	53,9	1,20	47,1	44,6	39,6	17,2	6,8	12,8	2,5	4,6	5,0	9,2	14,3	26,5	22,4	41,5	17,2	31,9
30-35	52,7	1,27	38,5	36,0	32,0	16,0	14,2	26,9	2,5	4,5	4,0	7,5	21,0	39,0	16,0	30,3	16,0	30,3
45-50	50,5	1,35	36,0	33,6	26,6	11,2	14,5	28,7	2,4	4,8	7,0	13,8	23,8	47,3	15,4	30,4	11,2	22,1
Profil II Tieflockerung																		
10-15	51,3	1,28	44,3	42,1	36,0	15,4	7,0	13,0	2,2	4,3	6,1	11,8	15,3	29,8	20,6	40,1	15,4	30,0
30-35	45,1	1,48	36,8	34,6	27,6	11,9	8,3	18,4	2,2	4,8	7,0	15,5	17,2	38,1	15,7	34,8	11,9	26,3
45-50	40,2	1,65	30,5	28,4	24,6	10,1	10,0	24,6	2,1	4,9	3,8	9,4	15,9	39,5	14,5	36,0	10,1	25,1
Profil III Nullparzelle																		
10-15	44,9	1,34	40,4	39,3	34,2	17,1	4,5	9,1	1,1	2,2	5,1	10,3	10,7	23,8	17,1	38,0	17,1	38,0
30-35	34,2	1,77	27,6	25,2	20,7	10,4	6,6	19,2	2,4	7,0	4,5	13,1	13,5	39,4	10,3	30,4	10,4	30,4
45-50	35,9	1,69	29,5	27,6	25,3	16,3	6,4	17,8	1,9	5,2	2,3	6,4	10,6	29,5	9,0	25,0	16,3	45,4
Profil IV Tieflockerung																		
10-15	46,0	1,44	37,4	36,2	33,2	15,9	8,4	18,2	1,2	2,6	3,0	6,5	12,6	27,3	17,3	37,6	15,9	34,5
30-35	51,2	1,36	33,0	31,5	28,5	13,4	18,2	36,3	1,5	2,9	3,0	5,9	22,7	44,3	15,1	29,4	13,4	26,1
45-50	48,1	1,42	38,5	37,2	34,5	13,6	9,6	19,7	1,3	2,7	2,7	5,6	13,5	28,0	20,9	43,4	13,6	28,2
Profil V Nullparzelle																		
10-15	41,9	1,56	37,2	36,3	34,4	17,1	3,8	9,0	0,9	2,1	1,9	4,5	6,6	15,7	17,3	41,2	17,1	40,8
30-35	34,9	1,71	30,2	29,5	27,9	10,4	4,5	12,8	0,7	2,0	1,6	4,5	6,8	18,9	17,2	49,2	10,4	29,7
45-50	31,3	1,65	28,4	27,7	26,7	14,1	2,8	8,9	0,5	1,5	1,0	3,1	4,3	13,7	12,6	40,2	14,1	45,0

Tabelle 35: Gesamtporenvolumen, Dichte in g/cm^3 , Wassergehalt bei pF 1,4, pF 1,77, pF 2,54, pF 4,2

Porenbereiche absolut (in Volumenprozent) und in % des Gesamtporenvolumens

Grleth-Griethausen, Dezember 1967

Profil I ungestörter Boden

Tiefe	GPV	Dichte	pF 1,4		pF 1,77		pF 2,54		120 μ		30-10 μ		10-0,2 μ		0,2 μ			
			abs	%	abs	%	abs	%	abs	%	abs	%	abs	%				
10-15	52,7	1,26	45,3	43,2	37,8	16,4	7,4	14,0	2,1	4,0	5,4	10,2	14,9	28,2	21,4	40,6	16,4	31,1
30-35	53,9	1,30	38,6	36,6	31,1	15,1	15,3	28,0	2,6	4,8	4,9	9,0	22,8	42,3	16,0	29,6	15,1	28,0
45-50	52,5	1,36	36,8	34,3	29,1	11,4	16,3	31,0	2,5	4,7	5,2	9,9	24,0	45,0	17,7	33,7	11,4	21,7

Profil II Tieflockerung

10-15	43, 2	1, 55	33, 2	31, 8	28, 8	13, 5	10, 0	22, 9	1, 4	3, 2	3, 0	7, 1	14, 4	33, 3	15, 3	35, 4	13, 5	31, 2
30-35	39, 5	1, 30	29, 2	26, 9	22, 0	14, 1	10, 3	25, 7	2, 5	6, 2	4, 7	11, 7	17, 2	43, 5	7, 9	20, 0	14, 1	35, 6
45-50	44, 0	1, 60	29, 7	28, 9	22, 2	7, 0	14, 3	32, 7	2, 8	6, 3	4, 7	10, 6	21, 8	49, 5	15, 2	34, 5	7, 0	15, 9

Profil III Nullparzelle

	10-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	61-65	66-70	71-75	76-80	81-85	86-90	91-95	96-100
10-15	46,7	1,34	33,6	30,6	26,6	15,8	13,1	28,2	3,0	6,4	4,0	8,5	20,1	43,0	10,8	23,1	15,8	33,8
16-20	35,1	1,41	29,1	26,2	24,1	19,0	6,0	17,0	2,9	8,2	2,1	5,9	9,9	27,9	5,1	14,5	19,0	54,1
21-25	39,1	1,67	28,7	27,0	24,9	17,3	10,4	26,4	1,7	4,3	2,1	5,3	14,2	36,3	7,5	19,1	17,3	44,2

Profil IV Tieflockerung

55,0	1,53	44,2	41,2	36,6	10,8	10,8	19,0	3,0	5,4	4,6	8,3	18,4	33,4	25,7	46,7	10,9	19,8
54,0	1,52	35,6	34,3	29,3	9,6	18,4	34,0	2,3	4,2	5,0	9,2	25,7	47,5	19,7	36,4	9,6	17,7
40,8	1,53	30,1	27,3	21,6	10,1	10,7	19,0	2,5	6,8	5,7	13,9	18,5	45,3	11,5	28,1	10,1	24,7

Profil V Nullparzelle

10-15	36.9	1.73	30.4	29.1	26.5	17.5	6.5	18.4	1.3	3.5	2.6	7.0	10.4	28.1	9.0	24.3	17.5	47.4
20-35	36.8	1.71	31.0	29.7	27.4	17.0	5.8	15.1	1.3	3.3	2.3	6.2	9.4	28.3	25.5	10.4	27.0	46.0
45-50	34.5	1.59	28.8	26.0	23.2	15.7	5.7	15.3	2.8	8.1	2.8	8.1	14.2	41.1	7.5	21.7	15.7	45.5

Tabelle 36: Gesamtporenvolumen, Dichte in g/cm³, Wassergehalt bei pF 1,4, pF 1,77, pF 2,54, pF 4,2

Porenbereiche absolut (in Volumenprozent) und in % des Gesamtporenvolumen
Grieth-Griethhausen, Juni 1968

Profil I ungestörter Boden

Tiefe	G.P.V.	Dichte	pF 1,4	pF 1,77	pF 2,54	pF 4,2	120 μ abs	120 μ %	120-50 μ abs	50-10 μ abs	10 μ abs	10-0,2 μ abs	0,2 μ abs
10-15	51,3	1,20	45,2	43,2	38,2	15,0	6,1	11,8	2,0	3,8	11,9	23,2	15,0
30-35	48,4	1,24	40,0	37,7	33,4	12,5	8,4	17,4	2,3	4,7	15,0	20,0	12,5
45-50	48,6	1,36	38,2	36,0	30,4	17,7	10,4	21,3	2,2	4,5	18,2	12,7	17,7

Profil II Tieflockerung Abstand 2,5 m

10-15	41,4	1,50	30,8	27,1	19,5	7,9	10,6	25,6	3,7	8,9	21,9	11,6	7,9
30-35	51,2	1,64	43,4	40,2	34,6	11,2	7,8	15,2	3,2	6,2	17,2	23,4	11,2
45-50	42,5	1,57	25,0	21,8	17,2	9,2	17,5	41,1	3,2	7,5	25,3	10,0	7,2

Profil III Nullparzelle

10-15	45,6	1,48	41,0	39,0	34,2	16,2	4,6	10,0	2,0	6,6	11,4	18,0	16,2
30-35	39,9	1,71	36,1	33,7	27,9	17,2	3,8	9,5	2,4	6,2	12,0	10,7	17,2
45-50	38,0	1,75	27,2	24,2	19,2	11,5	10,8	28,4	3,0	13,8	18,8	7,7	11,5

Profil IV Tieflockerung Abstand 0,70 m

10-15	42,0	1,30	32,4	29,6	24,2	10,7	9,6	22,8	2,8	6,6	17,8	13,5	10,7
30-35	44,9	1,21	37,0	34,0	25,2	10,6	7,9	17,5	3,0	6,6	19,7	13,6	10,6
45-50	43,7	1,12	32,3	28,5	21,9	9,2	10,4	23,7	3,8	8,6	21,8	12,7	9,2

Profil V Nullparzelle

10-15	34,5	1,75	28,4	27,4	24,4	19,3	6,1	17,6	1,0	2,8	10,1	8,1	16,3
30-35	35,5	1,69	33,0	32,1	28,1	16,3	2,2	6,2	0,2	2,7	7,1	11,8	16,3
45-50	40,2	1,50	32,8	30,4	22,6	15,4	7,4	18,4	2,4	5,9	17,1	7,2	15,4

Tabelle 37: Durchlässigkeit des Standortes Grieth-Griethausen
(errechnet aus 5 Messungen)

Parzelle II

Tieflockerung (parallel zum Rhein gelockert)

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
8. 3.67	10-15	hohe	487,29	$5,64 \times 10^{-3}$
" " "	30-35	hohe	310,17	$3,59 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	161,56	$1,87 \times 10^{-3}$
20.12.67	10-15	hohe	628,99	$7,28 \times 10^{-3}$
" " "	30-35	hohe	267,84	$3,10 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	sehr hohe	3084,48	$3,57 \times 10^{-2}$
18. 6.68	10-15	hohe	99,36	$1,15 \times 10^{-3}$
" " "	30-35	hohe	686,01	$7,94 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	363,74	$4,21 \times 10^{-3}$

Parzelle III

Nullparzelle (neben Tl. parallel zum Rhein)

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
8. 3.67	10-15	geringe	2,03	$2,35 \times 10^{-5}$
" " "	30-35	mittlere	12,78	$1,48 \times 10^{-4}$
" " "	45-50	sehr geringe	0,17	$2,07 \times 10^{-6}$
20.12.67	10-15	mittlere	21,34	$2,47 \times 10^{-4}$
" " "	30-35	geringe	5,46	$6,32 \times 10^{-5}$
" " "	45-50	sehr geringe	0,81	$9,44 \times 10^{-6}$
18. 6.68	10-15	geringe	2,18	$2,53 \times 10^{-5}$
" " "	30-35	geringe	4,82	$5,59 \times 10^{-5}$
" " "	45-50	geringe	1,50	$1,74 \times 10^{-5}$

Fortsetzung von Tabelle 37

Grieth-Griethausen Parzelle IV

Tieflockerung (senkrecht zum Rhein gelockert)

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
8. 3. 67	10-15	sehr hohe	3127,68	$3,62 \times 10^{-2}$
" " "	30-35	sehr hohe	2013,12	$2,33 \times 10^{-2}$
" " "	45-50	sehr hohe	3170,88	$3,67 \times 10^{-2}$
20.12.67	10-15	sehr hohe	3291,84	$3,81 \times 10^{-2}$
" " "	30-35	hohe	423,36	$4,9 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	586,65	$6,79 \times 10^{-3}$
18. 6. 68	10-15	sehr hohe	4363,20	$5,05 \times 10^{-2}$
" " "	30-35	hohe	603,93	$6,99 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	859,81	$9,94 \times 10^{-3}$

Grieth-Griethausen Parzelle V

Nullparzelle (neben Tl. senkrecht zum Rhein gelockert)

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
8. 3. 67	10-15	mittlere	47,34	$5,48 \times 10^{-4}$
" " "	30-35	mittlere	15,63	$1,81 \times 10^{-4}$
" " "	45-50	mittlere	9,76	$1,13 \times 10^{-4}$
20.12.67	10-15	mittlere	27,92	$3,22 \times 10^{-4}$
" " "	30-35	sehr geringe	0,01	$1,80 \times 10^{-6}$
" " "	45-50	sehr geringe	0,01	$1,23 \times 10^{-6}$
18. 6. 68	10-15	mittlere	11,40	$1,32 \times 10^{-4}$
" " "	30-35	sehr geringe	0,11	$1,29 \times 10^{-6}$
" " "	45-50	geringe	1,42	$1,65 \times 10^{-5}$

Fortsetzung von Tabelle 37

Grieth-Griethausen P I

unveränderte Parzelle (kein ab- und aufgetragener Boden)

Datum	Tiefe cm	Durchlässigkeit	cm/Tag	cm/s
8. 3.67	10-15	mittlere	14,77	$1,71 \times 10^{-4}$
" " "	30-35	mittlere	44,84	$5,19 \times 10^{-4}$
" " "	45-50	hohe	608,25	$7,04 \times 10^{-3}$
20.12.67	10-15	mittlere	13,04	$1,51 \times 10^{-4}$
" " "	30-35	mittlere	11,49	$1,33 \times 10^{-4}$
" " "	45-50	mittlere	25,14	$2,91 \times 10^{-4}$
18. 6.68	10-15	mittlere	24,10	$2,79 \times 10^{-4}$
" " "	30-35	hohe	667,00	$7,72 \times 10^{-3}$
" " "	45-50	hohe	357,69	$4,14 \times 10^{-3}$

Tabelle 38: Eindringwiderstand in kg/cm^2 u. Wassergehalt
in Gewicht %
Grieth-Griethausen, März 1967

Tiefe cm	<u>Tieflocker.</u>		<u>Nullparz.</u>		<u>ungest. Parz.</u>	
	WG%	kg/cm^2	WG%	kg/cm^2	WG%	kg/cm^2
0-10	14,5	3,2	30,2	5,1	16,3	5,4
10-20	16,6	2,6	34,3	6,1	25,0	5,6
20-30	20,4	3,0	23,0	12,3	25,0	10,0
30-40	18,1	4,8	16,6	15,0	28,0	12,4
40-50	26,0	6,6	18,9	15,0	22,2	15,0
50-60	27,0	10,8	17,3	15,0	19,1	15,0
60-70	25,0	15,0	16,6	15,0	16,1	15,0

Grieth-Griethausen, Juni 1968

Tiefe cm	<u>Tieflocker.</u>		<u>Nullparz.</u>		<u>ungest. Parz.</u>	
	WG%	kg/cm^2	WG%	kg/cm^2	WG%	kg/cm^2
0-10	15,6	5,5	19,4	6,4	16,6	6,0
10-20	16,3	5,2	23,3	6,4	20,4	5,9
20-30	14,5	6,4	18,0	9,3	16,6	9,0
30-40	17,1	7,2	16,0	11,4	16,9	12,0
40-50	18,4	8,7	15,5	15,0	16,0	14,0
50-60	18,5	10,4	16,6	15,0	16,6	15,0
60-70	18,9	14,2	15,6	15,0	13,5	15,0

7. Literaturverzeichnis

1. Bartels, A. u. Lewke, K.: Die Unterkrumenlockerung erhöht die Bodenfruchtbarkeit.
Die Deutsche Landwirtschaft,
13. Jg., 1962
2. B.A.S.F. Styromull, ein flockiges Bodenverbesserungsmittel aus Styropor.
B.A.S.F. Werkstoffblatt 7002. I
November 1966
3. Birecke, M. u.
Smierzchalski, L.: Einige Ergebnisse von Versuchen mit verschieden tiefer Bodenbearbeitung.
Deutsche Akad. d. Landwirtschaftswissenschaften
Berlin, 1960, Tagungsber. 28
4. Blohm, G.: Der Einfluß der Bodenstruktur auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens.
Landwirtsch. Jahrbücher 66. Bd.,
1927
5. Boguslawski, E. v. und
Lenz, K.O.: Untersuchungen über mechanische Widerstandsmessungen mit einer Rammsonde auf Ackerböden.
Zeitschr. f. Acker- u. Pflanzenbau Bd. 109, 1959
6. Boguslawski, E. v. und
Lenz, K.O.: Die Ertragsbildung in Abhängigkeit von Porenvolumen und Bodenwiderstand.

Ztschr. f. Acker- u. Pflanzenbau
Bd. 110, 1960

7. Borchert, H.: Bodengefüge - Untersuchung mit Hilfe von Bodenschliffen. Die Umschau in Wissenschaft und Technik 63. Jg. 1963
8. Borchert, H.: Mikromorphologische Beobachtungen an meliorierten Böden. Soil Micromorphology Amsterdam 1964
9. Borchert, H.: Mikromorphologische Untersuchungen an Bodenprofilen in Ostbayern. Bayr. Landwirtschaftl. Jahrbuch, 42. Jg., Sonderheft 5 1965
10. Borchert, H.: Untersuchungen der Bodengefügeveränderung von meliorierten Böden. Geoderma, Elsevier Publishing Company, Amsterdam 1967, 1. S. 371 - 390.
11. Borchert, H.: Änderung des Bodenwasserhaushaltes durch Melioration. "Niveau der Wasserbewirtschaftung in der Landwirtschaft und komplexe Untersuchungen der wirkenden Faktoren." 26.-30. Aug. 1968
2. Talajtan
12. Borchert, H.: Mikromorphologische Bodengefüge-

- beobachtungen an einer Brack-See-
marsch, Knick-Brackmarsch und
Flußmarsch anhand von 1 m tiefen
Profilschliffen.
Geol. Jb. 86, 1968
13. Borchert, H.: Die Herstellung von Bodendünn-
schliffen.
Pflanzenernährung 1962.
14. Borchert, H.: Eine Methode zur Untersuchung
des Bodengefüges meliorationsbe-
dürftiger Standorte.
Mitt. d. Dtschen Bodenkundl. Ges.,
Bd. 2, 1964
15. Borchert, H.: Über Erfahrungen bei der Boden-
schliffherstellung f. kulturtechn.
Untersuchungen,
Intern. Tagung Problemen Schliff-
präparation, Rathenow, 1966
16. Childs, E.G.: Die Bewegung des Wassers im Bo-
den.
Endeavour 1963
17. Czeratzki, W.: Die Erhaltung des günstigsten Bo-
denzustandes durch zweckmäßige
Bodenbearbeitung.
Archiv der DLG Bd. 25
18. Czeratzki, W.: Eine keramische Platte zur serien-
mäßigen Untersuchung von Poren-
größen im Boden im Spannungsbe-

- reich bis ca. 1 Atm
Z.f. Pflanzenern., Düng. u. Boden-
denk., Bd. 81, H. 1, 1958
19. Czeratzki, W.:
Bodenphysikalische Ergebnisse aus
Versuchen mit Zweischichtenpflügen.
Dtsche Akad. d. Landwirtschafts-
wissenschaften. Tagungsbericht Nr. 28,
Berlin
20. Czeratzki, W.:
Characterisation of tillage-induced
soil properties for plant growth.
Vortrag gehalten bei der "Internation-
al Conference on Characteri-
sation Problems in Soil Tillage".
As, Norwegen, 5.-9. Oktober 1965
21. Czeratzki, W.:
Einige Ergebnisse bodenphysikali-
scher Messungen an zwei Tiefpflug-
Versuchen auf Parabraunerden aus
Löß.
Forschungsrat. f. Ernähr., Land-
wirtsch. u. Forsten.
Arbeitstg. 1967 in Gießen
22. Egerszege, S.:
Die Hauptgesichtspunkte für die Ver-
tiefung der Nährschicht von Sand-
böden in Ungarn.
Dtsche Akad. d. Landwirtschafts-
wissenschaften
Berlin 1960, Tagungsber. 28
23. Exkursionsführer der DBG-Tagung Aachen 1965
"Tonverlagerung in Böden".
Mitt. d. deutschen Bodenkdl. Ges.,
Bd. 3

24. Erlenbach:
(schriftl. Mitt.) Tiefenlockerung im Deichvorland
Grieth-Griethausen 1968
25. Fauser, O.: Kulturtechnische Bodenverbesserungen. Allgemeines, Entwässerung,
Teil I
Samml. Göschen, Bd. 691, 1959
26. Feuerlein, W.: Minimale und optimale Aufwendungen
für den Boden.
Verb. Landwirtsch. Gutsbetriebe
in Österreich, Wintertg. 1962
27. Fiedler, H.J. und
Reissig, H.: Lehrbuch der Bodenkunde
Fischer Verlag Jena 1964
28. Forschungsstelle für Grün- Witterungsangaben vom Jahre 1967
land und Futterbau des und 1968
Landes Nordrh.-Westf.
Kleve-Kellen
29. Frese, H.: Die Beeinflussung der Bodenstruktur
durch Bearbeitungsmaßnahmen.
Arbeiten der D.L.G. Bd. 54
Jahr 1959
30. Frese, H.: Über Voraussetzungen und Zweck-
mäßigkeit einer Vertiefung der
Ackerkrume.
Tagungsber. Nr. 28, 1960
Dtsche Akad. d. Landwirtschafts-
wissenschaften.
31. Frese, H.: Systeme der Bodenkultur aus der

- Sicht der Bodenbearbeitung-Forschung.
Landbauforschung Völkenrode,
14. Jg., 1964
32. Gliemeroth, G.: Bearbeitung und Düngung des Unterbodens in ihrer Wirkung auf Wurzelentwicklung, Stoffaufnahme und Pflanzenleistung.
Zeitschr. f. Acker- und Pflanzenbau Bd. 96, 1953
33. Gliemeroth, G.: Tiefenbearbeitung und Unterbodendüngung.
Forschungsr. f. Ernähr., Landwirtsch. und Forsten
Arbeitstg. 1967 in Gießen
34. Görbing, J.: Die Grundlagen der Gare im praktischen Ackerbau.
Hannover 1947
35. Golisch, G.: Erfahrungen über den Einsatz von Tiefpflügen.
Forschungsr. f. Ernähr., Landwirtsch. und Forsten
Arbeitstg. 1967 in Gießen
36. Golisch, G.: Banteln,
Versuchsberichte 1968, Privatdruck
37. Gora, A., und Schwarz, K.: Bodenfeuchtere regulierung mit einem kombinierten Tieflockerungs- und kalkungsgerät.

Die Dtsche. Landwirtschaft, 15. Jg.,
1964

38. Goudsche Maschinenfabriek N.V., 1965. Das holländische Verfahren für Bodensondierung. Goudsche Maschinenfabriek N.V., Gouda (Prospekt).
39. Hanus, H.: Eine Methode zur serienmäßigen Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit. Mitt. d. Dtsch. Bodenkundl. Ges., Bd. 2, 1965
40. Hartge, K.H.: Erfassung der Kontinuität grober Poren aus ihrem Anteil im Boden und dem Permeabilitätskoeffizienten. Z. f. Pflanzenern. Düng. u. Bodenk. Bd. 88, H. 3, 1960
41. Hartge, K.H.: Die Auswertung von pF-Kurven. Z. f. Pflanzenern., Düng. und Bodenk. Bd. 88, H. 3, 1960
42. Hartge, K.H.: Die Messung der Wasserpermeabilität an Stechzylinderproben. Z. f. Kulturtechnik, Bd. 2, 1961
43. Hartge, K.H.: Bodenkundliche Auswertungsmöglichkeiten der Permeabilitätswerte bei Messungen an Stechzylinderproben. Z. f. Pflanzenern., Düng. und Bodenk. Bd. 103, H. 3, 1963

44. Hartge, K.H.: Die Bestimmung von Porenvolumen und Porengrößenverteilung.
Z. f. Kulturtechn. und Flurber.,
Jg. 6, H. 4, 1965
45. Hartge, K.H.: Ein Haubenpermeameter zum schnellen Durchmessen zahlreicher Stechzylinder.
Z. f. Kulturtechn. und Flurber.,
Jg. 7, H. 3, 1966
46. Hofmann: Aktuelle Fragen der Bodenbearbeitung.
Landwirtschaftsbl. Weser-Ems
H. 7, Jg. 1965
47. Jung, L.,
Faust, W. und
Rohmer, W.: Bodenkundliche Untersuchungen über Erosionsanfälligkeit und Dichtlagerung rekultivierter Böden im Rheinischen Braunkohlengebiet.
Aus dem Inst. f. Bodenk. und Bodenerh. d. Justus-Liebig-Univ. Gießen
1960
48. Kamarás, M. und
Seidl, F.: Die meliorierende Anbaumethode und deren Auswirkung auf den Bodenschutz.
"Niveau der Wasserbewirtschaftung in der Landwirtschaft und komplexe Untersuchung der wirkenden Faktoren".
26.-30. August 1968
2. Talajtan.

49. Kmoch, H.G.: Die Luftdurchlässigkeit des Bodens
Habitations-Schrift Bonn 1962
50. Knobloch, H.: Neue Geräte für die Melioration
nasser Böden.
Techn. u. Landw., 17. Jg.,
H. 21, 1965
51. Kopp, E.: Die Permeabilität durchlässiger
Böden, die Gliederung des Makro-
porenraumes und die Beziehung
zwischen Permeabilität und Boden-
typ.
Z. f. Kulturtechn. und Flurber.,
Bd. 6, H. 2, 1965
52. Kowald, R.: Maulwurfsdränung in der Marsch
Mitt. d. Dtsch. Bodenkundl. Ges.
Bd. 2, 1964
53. Kowald, R.: Der Weg des Wassers zum Drän
in grundwasservernässten Böden.
Sonderdruck aus Zeitschr. f. Kul-
turtechn. 1. Jg., H. 4, 1960
54. Kowald, R.: Der Einfluß von Drängraben, -filter
und -rohr auf die Wasserführung.
Sonderdruck aus Bayer. Landwirt-
schaftl. Jahrbuch, 44. Jg., H. 3,
1967
55. Krzysch, G.: Zur Beeinflussung der Bodenatmung
durch langjährige Düngung und Bo-
denbearbeitungsmaßnahmen.

- Ztschr. f. Acker- und Pflanzenbau
Bd. 120, 1964
56. Kunze, A.:
Untersuchungen über die Wirkung
unterschiedlicher Pflugarbeit auf
Ertrag und Bodeneigenschaften.
Dtsche Landwirtsch., 12. Jg., 1961
57. Landeskulturamt
Wiesbaden
Brief vom 8.10.1968
mit Unterlagen über die Meliora-
tionsmaßnahmen in Hessen.
58. Laskowski, S. und
Fenglerowa, W.:
Wstepne badania naddzia aniem
drenowania kreciego kretowania
uprawnego oraz pog ebiacza i orki
g ebodiejna madzie ciezkiej zutaw
wislanych.
Zeszyty Nankowe Wyzszej Szko y
Rolniczej w Szczecinie Nr. 2 1959
59. Loebell, R.:
Luftpyknometer
Schriftenreihe des KfK, Hamburg,
H. 4, 1955
60. Lüttmer, J. und
Jung, L.:
Über die Eignung des Natriumpyro-
phosphats zur Dispergierung bei
der mechanischen Bodenanalyse.
Notizbl. d. Hess. Landesamtes f.
Bodenforschung Wiesbaden 83,
(1955)
61. Massing, H.:
Die Permeabilität des Bodens, Prob-
lematik und Folgerungen.
Mitt. a. d. Inst. f. Wasserwirtschaft

- und landw. Wasserbau d. TH Hannover, H. 6, 1964
62. Master, J.: Bodenverdichtungen auf angeschütteten Lößböden nach verschiedenartiger Rekultivierung.
(im Rheinischen Braunkohlengebiet)
Diss. Bonn 1961
63. Meimberg, R.: Die Auswirkung von Meliorationsmaßnahmen, insbesondere der Tieflockerung, auf bodenphysikalische Kennwerte staunasser Böden.
Diss. Gießen 1967
64. Meimberg, R.: Die Wirkung von Untergrundlockerung und Maulwurfdränung auf den Wasserhaushalt verdichteter Böden.
Bayer. Landwirtsch. Jahrb.,
44. Jg., 1967
65. Merbitz, H.: 300 Jahre Lockerung der Böden -
und noch immer keine Klarheit?
Mitt. d. DLG., H. 9, 1967
66. Mertin, W.: Bodenverbesserung durch Maulwurfdränung im Vogelsberg.
Diss. Gießen 1965
67. Mott
(schriftl. Mitt.) Gelände vor dem Deich Grieth-
Griethausen 1968
68. Mückenhausen, E. und Klapp, E.: Grundsätzliches zur Tieflockerung
des Bodens

- Mitt. d. DLG., H. 13, 1967
69. Mühlbauer, H.:
Neue Verfahren zur Bestimmung
der Felddurchlässigkeit in grund-
wasserfreien Böden.
Mitt. a. d. Inst. f. Wasserwirtsch.
und landw. Wasserbau der TH Han-
nover, H. 6, 1964
70. Müller, G.:
Über die Bodenbiologische Dynamik
tiefbearbeiteter und tiefgedüngter
leichter Sandböden.
Dtsche Akad. d. Landwirtschafts-
wissenschaften Berlin 1960,
Tagungsber. 28
71. Neugebauer, V.:
Entstehung von Bodenkrankheiten
unter Berücksichtigung bodenbildenden
Prozesse auf jungdiluvialen
Hochflächen.
Ztschr. f. Bodenk. u. Pflanzen-
ern., Bd. 35, 1945
72. Niesmann, K.H.;
Faust, W., und
Rohmer, W.:
Bodenkundliche Untersuchungen über
Erosionsanfälligkeit und Dichtlage-
rung rekultivierter Böden im Rhei-
nischen Braunkohlengebiet.
Zusammengef. Tätigkeitsbericht d.
Jahre 1958-1960
73. Nippert, W.:
Spargel und Schinken.
Gießener Anz. v. 18.5.1968
74. Nitsch, W.v.:
Über Wasserbewegung und Poren-

- sität des Bodens und ihre Beziehung zur Bodenbearbeitung.
RKTL - Schriften, H. 41, 1933
75. Nitsch, W.v.: Bessere Bodenbearbeitung
RKTL - Schriften, H. 70,
76. Noltze, H.: Zur Kennzeichnung der Struktur von
Marschböden und ihrer Beziehung
zu mechanischen und chemischen
Eigenschaften.
Inst. f. Bodenk. und Bodenerh. d.
Justus-Liebig-Univ. Gießen 1960
77. Opitz, K.: Über den Einfluß von Bodenbearbei-
tung und Kalkung auf den Zustand
des Dahlemer Bodens und den Pflan-
zenertrag.
Wissensch. Arch. Landw. Pflanzen-
bau, Bd. 4, 1930
78. Opitz, K. und
Tamm, E.: Die Bedeutung der Bearbeitungstiefe
im Zusammenwirken mit Düngungs-
maßnahmen für die Bodenfruchtbar-
keit im Licht der Dahlemer Dauer-
versuche.
Ztsch. f. Acker- u. Pflanzenbau,
Bd. 96, 1953
79. Ott, Vermerk über den Verlauf der Ver-
suche zur Tiefenlockerung im Deich-
vorland.
Aus d. Landbauaußenstelle Niederrh.
d. Landwirtschaftsk. Rheinfl.

Krefeld 1966

80. Paul, A.:
Ergebnisse der im Sommer 1963 im
Raum Eschweiler-Dürwiß durchge-
führten Untersuchungen an rekulti-
vierten Böden.
Gesamtber. 1963 an d. Ministerium
f. Ern., Landw. und Forsten d.
Landes Nordrh.-Westf. 1963
81. Rauhe, K.:
Nachhaltige Verbesserung der Er-
tragsfähigkeit leichter Böden durch
Tiefenbearbeitungs- und Düngungs-
maßnahmen.
D. Dtsche Landwirtsch., 10. Jg.,
1959
82. Rauhe, K.:
Verbesserung der Bodenfruchtbar-
keit.
D. Dtsche Landwirtsch. 12. Jg.,
1961
83. Rauhe, K.:
Der Einfluß bestimmter Tiefkultur-
maßnahmen auf die Ertragsfähigkeit
leichter Böden in Trockenlagen.
Dtsche Akad. d. Landwirtschafts-
wissensch. Berlin 1960,
Tagungsber. 28
84. Reutzel, W. und
Borchert, H.:
Untersuchung von Meliorationsmaß-
nahmen gegen Wassererosion und
Untergrundverdichtung.
Abschlußber. an d. Minister f.
Ern., Landw. und Forsten d. Landes

Nordrh.-Westf., 18. Jan. 1968

85. Reutzel, W. und
Hochmuth, U.:

Untersuchungen von Meliorations-
maßnahmen gegen Wassererosion
und Untergrundverdichtung auf re-
kultivierten Böden im Rheinischen
Braunkohlengebiet.

A. d. Inst. f. Bodenk. und Boden-
erh. d. Liebig-Univ. Gießen 1965

86. Rid, H.:

Maulwurfränage zur Verbesserung
der Wasserführung und Durchlüf-
tung des Bodens.

Techn. u. Landw., H. 13, 1956

87. Rid, H.:

Neues zur Frage der Untergrund-
lockerung.

Dtsche Landtechn. Ztschr., Nr.11,
1957

88. Rid, H.:

Über eine Feldmethode zur Mes-
sung der Bodendurchlüftung.

Ztschr. f. Pflanzenern., Düng.
und Bodenk. 88. Bd., 1960

89. Rid, H.:

Das Problem der Untergrundlocke-
rung.

Prakt. Blätter f. Pflanzenbau u.
Pflanzenschutz, 55. Jg., 1960

90. Rid, H.:

Über die Komplexwirkung der Un-
tergrundlockerung.

Ztschr. f. Acker- und Pflanzenbau,
Bd. 110, 1960

91. Rid, H.: Mechanisierung, Motorisierung und Ackerboden.
Bayer. Landwirtsch. Jahrb., 38.
Jahrg., Sonderh. 2, 1961
92. Rid, H.: Bodengesundheit und Bodenpflege im Zeichen der Technik.
München 1964
93. Rid, H.: Regelung der Wasserführung des Bodens durch Untergrundlockerung.
Landtechn. 1965
94. Rid, H.: Entwässerung durch die Maulwurfdränage.
Landtechn. 1965
95. Rid, H.: Versuche zur Vertiefung der Pflugfurche.
Ztschr. f. Acker- und Pflanzenbau,
Bd. 124, 1966
96. Rid, H.: Zusammenhänge zwischen Grobstruktur und Bodenwasserhaushalt.
Bayer. Landwirtschaftl. Jahrb.,
44. Jg., Sonderh. 3, 1967
97. Roemer-Scheffer: Lehrbuch des Ackerbaus.
Berlin und Hamburg 1953
98. Rohde, A.A.: Das Wasser im Boden.
Berlin 1959
99. Rübensam, E.: Über die Entwicklung der Bearbei-

- tungstiefe von Ackerböden.
Dtsche Akad. d. Landwirtschafts-
wissensch.
Berlin 1960, Tagungsber. 28
100. Sandor, B.: Tájékoztató a keszthelyi Agrártudo-
mányi Foiskola kutatómunkájáról.
Budapest 1965
101. Schachtschabel, P. und Die Messung der Bodenstruktur
Hartge, K.H.: durch Bestimmung der pF-Kurve
und der Strukturstabilität.
Landw. Forschg. SH. 12, 1959
102. Scheffer-Schachtschabel: Bodenkunde Teil I.
Enke-Verlag, Stuttgart, 1960
103. Scheidig, A.: Der Löß und seine geotechnischen
Eigenschaften.
Dresden und Leipzig 1934
104. Schlögel, A.: Bayerische Agrargeschichte
München 1954
105. Schmid, G.: Verbesserung von Parabraunerden
aus Löß durch Primarlöß- und
Kalkmeliorationen. Mitt. d. Deutsch.
Bodenkundl. Gesellschaft, Bd. 4,
1965
106. Schmid, G.: Meliorationskalkung auf physiologisch
sauren und staunassen Böden.
Mitt. d. DLG, H. 4, 1964
107. Schmid, G.: Regradierung von Parabraunerden
aus Löß durch Meliorationsmaßnah-

- men.
Die Bodenkultur, 17. Bd., 1966
108. Schmid, G.:
Untergrundlockerung und Tiefendüngung mit Calcium.
Forschungsr. f. Ern., Landwirtsch. u. Forsten
Arbeitstg. 1967 in Gießen
109. Schmid, G.:
Die Basensättigungsverhältnisse der metamorphen, eruptiven und Sedimentsgesteinsverwitterungsböden des Paläozoikums in Bayern.
Die Bodenkultur, 18. Bd., 1967
110. Schmid, G. und Weigelt, H.:
Bodenverbesserung durch Tiefenbearbeitung und -düngung, Primärlöß- und Kalkmelioration.
Forschungsr. f. Ern., Landw. und Forsten, H. 4, 1967
111. Schönberg, W.:
Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Zylinderproben und ihre Beziehung zu einigen Bodenkennwerten.
Wiss. Z. d. Fr.-Sch.-Univ. Jena, Math.-Naturwiss. Reihe, Jg. 14, H. 3, 1965
112. Schulte-Karring, H.:
Die Untergrundlockerung allgemeinverdichteter Böden und ihre Wirkung auf Boden und Pflanzenwachstum.
Diss. Bonn 1957

113. Schulte-Karring, H.: Dränage oder Untergrundlockerung?
Mitt. d. D.L.G., H. 36, 1963
114. Schulte-Karring, H.: Untergrundlockerung und Tiefen-
düngung auf staunassen Böden.
Mitt. d. DLG, H. 41, 1963
115. Schulte-Karring, H.: Die Melioration staunasser Böden.
III. Beil. d. Mitt. d. DLG, H. 32,
1964
116. Schulte-Karring, H.: Die Untergrundlockerung und Tie-
fendüngung.
Forschungsr. f. Ern., Landwirtsch.
und Forsten
Arbeitstg. über Unterboden- und
Tiefenbearbeitungsmaßnahmen vom
10.-12. Okt. in Ahrweiler 1966
117. Schulte-Karring, H.: Achtjährige Untersuchungsergebnisse
über die Auswirkung der Tiefendün-
gung in untergrundgelockerten Stau-
nasseböden.
Forschungsr. f. Ern., Landwirtsch.
u. Forsten,
Arbeitstg. 1967 in Gießen
118. Schulte-Karring, H.: Die Melioration der strukturkranken
Böden.
Zweijahresber. d. Landes-Lehr-
und Versuchsanst. Ahrweiler 1968
119. Schulte-Karring, H.: Die technischen Probleme der Un-
tergrundlockerung und Tiefendüngung.

- Zweijahresber. d. Landes-Lehr-
und Versuchsanst. Ahrweiler 1968
120. Schwarz, K. und
A. Gora: Meliorationsmöglichkeiten mit Hilfe
eines kombinierten Tieflockerungs-
und Tiefkalkungsgerätes
Deutsche Agrartechnik, 13,
H. 3, 1963
121. Sekera, F.: Gesunder und kranker Boden.
Berlin 1951
122. Siebert, K.: Die Wirkung von Dränungen auf die
Struktur des Bodens.
Diss., Königsberg/Pr., 1930
123. Specht, G.: Steigerung der Erträge auf leichten
Sandböden durch Tiefpflügen.
Die Dtsche Landw., 15, Jg., 1964
124. Steinmetz, H.J.: Ein Beitrag zum Problem der Bo-
denmelioration in Hessen.
Ztschr. f. Kulturtechn. und Flurber.,
6. Jg., H. 6, 1965
125. Steinmetz, H.J.: Bodenerhaltung durch Bodengefüge-
veränderung.
Bull. of the I. A. S. H.
X^e Anneé No 1, 1965
126. Stranák, A.: Einfluß der Untergrundlockerung auf
einige physikalische Bodeneigen-
schaften und auf die Erträge der
Pflanzen.

- Dtsche Akad. d. Landwirtschafts-
wissenschaft, Berlin 1960
Tagungsber. 28
127. Straub, R.:
Mikrobiologische Ergebnisse von
drei Ahrweiler Tiefenlockerungs-
und Tiefendüngungsversuchen.
Forschungsr. f. Ern., Landwirtsch.
und Forsten
Arbeitstg. 1967 in Gießen
128. Swietochowski, B. und
Tymieniecka, W.:
Versuchsergebnisse und methodi-
sche Fragen der Melioration von
Sandböden nach der Egerszegi-
Methode.
Dtsche Akad. d. Landwirtschafts-
wissensch.
Berlin 1960, Tagungsber. 28
129. Tamm, E. und
Kryzsch, G.:
Veränderungen der chemischen und
biologischen Bodeneigenschaften im
Profil eines lehmigen Sandbodens
durch langjährig differenzierte Bo-
denbearbeitungs- und Düngungsmaß-
nahmen.
Ztschr. f. Acker- und Pflanzenbau,
Bd. 120, 1964
130. Thun, R. und
R. Hermann:
Methodenbuch Bd. I, Die Untersu-
chung von Böden
Neumann-Verlag, Radebeul u.
Berlin, 1955
131. Vollmer, F.-J.:
Düngen mit flüssigem Stickstoff.

Ingenieurschule f. Landbau
Brühl/Bez. Köln 1967

132. Wohlrab, B.:

Auswirkungen wasser- und bergbau-
licher Eingriffe in die Landeskultur.
Untersuchungen zu ihrer Klärung
und für ihren Ausgleich.
Forschung u. Beratung Reihe C,
H. 9, 1965

133. Wohlrab, B.:

Gutachten über die Auswirkungen
der mit dem Deichbau Grieth-Griet-
hausen verbundenen erd- und wasser-
baulichen Maßnahmen auf die Stand-
ortverhältnisse des Deichvorlandes.
Landesanstalt f. Immissions- und
Bodennutzungsschutz des Landes
Nordrh.-Westf. 1967

134. Woldstedt, P.:

Zusammenstellung in "Das Eiszeit-
alter".
Grundlinien einer Geologie des Quar-
tärs. I. Bd. Stuttgart 1961

135. Wolkewitz, H.:

Die Weiterentwicklung des Verfah-
rens der pF-Untersuchung zur Fest-
stellung der Bindungsintensität des
Wassers im Boden.
Der Kulturtechniker, Jg. 47, 1959

136. Wolkewitz, H.:

Methode zur Bestimmung der Bin-
dungsintensität des Wassers im Bo-
den. - Diskussion der Kennwerte.
Z. f. Kulturtechnik, Bd. 3, 1962

137. Wolkewitz, H.: Die physikalischen Eigenschaften von Böden, ihre methodische Erfassung und ihre Veränderung durch verschiedene Faktoren, dargestellt an Modellsubstanzen.
Habil.-Schrift, Berlin 1964
138. Zakosek, H.: Über die Bedeutung des Profilgeprägtes gleyartiger Böden.
Diss. Bonn 1952
139. Zakosek, H.: Durchlässigkeitsuntersuchungen an Böden unter besonderer Berücksichtigung der Pseudogleye.
Abh. d. Hess. Landesamtes f. Bodenf., Wiesbaden, 1960
140. Zürn, F.: Luzernebau auf schweren Böden.
Der Tierzüchter H. 8, 1963
141. Zunker, F.: Das Verhalten des Bodens zum Wasser.
Blancks Handbuch der Bodenlehre, VI. Berlin 1930
142. Zunker, F.: Die Durchlässigkeit des Bodens.
Z. f. Pflanzenk., Düng. und Bodenk., Bd. 25 a, 1932

Die vorliegende Arbeit wurde im Institut für Landeskultur der Justus-Liebig-Universität Gießen angefertigt.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. H. Weber, möchte ich für die Überlassung dieser Arbeit und für seine wertvollen Anregungen, die er mir zuteil werden ließ, meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

Weiterhin bin ich Herrn Privatdozent Dr. R. Kowald und Herrn Dr. H. Borchert für die ständige Hilfsbereitschaft bei der Fertigstellung dieser Arbeit zu großem Dank verpflichtet.

LEBENS LAUF

14. 2. 1931 Geboren in Hamadan/Iran, als Sohn des
Landwirts Haschem Samadani und seiner
Ehefrau Sedighe
- 1940 - 1947 Besuch der Volksschule "Pahlewi" in
Kermanschah
- 1947 - 1952 Besuch des Gymnasium "Schahpur" in
Kermanschah
- 1952 - 1953 Ablegung der Reifeprüfung
- 1953 - 1958 Berufstätig als Büroangestellter in Teheran
- Frühjahr 1958 Ablegung der naturwissenschaftlichen Reife-
prüfung am Gymnasium in Teheran
- 1958 - 1959 Absolvierung einer landwirtschaftlichen Lehre
auf dem Hofgut Praunheim, Frankfurt/M.
- 1960 - 1965 Landwirtschaftliches Studium an der Justus-
Liebig-Universität Gießen
- Herbst 1965 Ablegung der landwirtschaftlichen Diplomprüfung
an der Justus-Liebig-Universität Gießen.
Seit 1966 bin ich am Institut für Landeskultur
der Justus-Liebig-Universität Gießen als wis-
senschaftliche Hilfskraft tätig und mit der An-
fertigung vorliegender Arbeit beschäftigt.

